

引用格式:

耿世杰, 李惠霞, 王斌, 何文寿. 耕作方式和钾肥用量对旱作马铃薯产量及水肥利用率的影响[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2022, 48(2): 168–174.

GENG S J, LI H X, WANG B, HE W S. Effects of tillage methods and potassium fertilizer dosages on potato yield and water-fertilizer utilization in the dry farmland[J]. Journal of Hunan Agricultural University(Natural Sciences), 2022, 48(2): 168–174.

投稿网址: <http://xb.hunau.edu.cn>



耕作方式和钾肥用量对旱作马铃薯产量及水肥利用率的影响

耿世杰, 李惠霞, 王斌, 何文寿*

(宁夏大学农学院, 宁夏 银川 750021)

摘要: 2019年, 在宁夏南部旱作马铃薯种植区, 通过田间试验研究了传统耕作与粉垄耕作下不同钾肥用量(0、45、90、135、180 kg/hm²)对马铃薯干物质累积、产量及水肥利用率的影响。结果表明: 与传统耕作相比, 粉垄耕作马铃薯的干物质累积量明显提高, 干物质最大累积速率和平均累积速率分别提高了33.3%和31.0%, 施钾90 kg/hm²的马铃薯干物质累积总量显著高于其他施钾处理的; 相同的施钾量处理, 粉垄耕作显著提高了马铃薯单株薯质量、单薯质量、商品薯率, 显著降低小薯率, 产量提高了23.3%, 其中, 施钾90 kg/hm²的马铃薯产量最高, 达45 122.5 kg/hm²; 2种耕作方式下均以施钾90 kg/hm²时钾肥利用率最高, 分别达46.0%、55.0%; 相同的施钾量处理, 粉垄耕作显著提高了马铃薯的水分利用效率, 比传统耕作的提高了29.7%~39.8%。可见, 粉垄耕作结合适宜钾肥用量可显著促进马铃薯生长, 提高马铃薯产量和水肥利用效率。

关键词: 马铃薯; 粉垄耕作; 钾肥; 产量; 干物质累积量; 钾累积量; 水分利用效率; 肥料利用率

中图分类号: S532

文献标志码: A

文章编号: 1007-1032(2022)02-0168-07

Effects of tillage methods and potassium fertilizer dosages on potato yield and water-fertilizer utilization in the dry farmland

GENG Shijie, LI Huixia, WANG Bin, HE Wenshou*

(School of Agriculture, Ningxia University, Yinchuan, Ningxia 750021, China)

Abstract: In the dry farming potato growing areas in southern Ningxia in 2019, field trials were conducted to study the effects of different potassium fertilizer dosages(0, 45, 90, 135, 180 kg/hm²) on potato dry matter accumulation, yield and water-fertilizer utilization efficiency with traditional and Fenlong tillage methods. The results showed that compared to traditional tillage methods, dry matter accumulation was significantly increased under Fenlong tillage, as the maximum dry matter accumulation rate and average dry matter accumulation rate increased 33.3% and 31.0%, respectively. The total amount of dry matter accumulation of potatoes treated with 90 kg/hm² potassium fertilizer was significantly higher than those of other potassium fertilizer treatments. Under the uniform potassium fertilizer treatments, Fenlong tillage significantly increased individual plant mass, individual potato mass and commercial potato rate, and reduced the rate of small potatoes. Compared to traditional tillage, Fenlong tillage increased yield by 23.3%. Under Fenlong tillage, the potatoes with a 90 kg/hm² potassium fertilizer yield reached 45 122.5 kg/hm² at its highest. Under both tillage methods, potassium fertilizer utilization rate was highest with the 90 kg/hm² potassium fertilizer treatment, reaching 46.0% and

收稿日期: 2020-08-29

修回日期: 2022-03-29

基金项目: 农业部公益性行业(农业)科研专项(201503120); 宁夏自治区重点研发计划项目(2018BFF02002)

作者简介: 耿世杰(1996—), 男, 河北衡水人, 硕士研究生, 主要从事植物营养与施肥研究, 1070098734@qq.com; *通信作者, 何文寿, 教授, 主要从事土壤肥料研究, hews818@163.com

55.0% for traditional and Fenlong tillage methods, respectively. Under the uniform potassium fertilizer treatments, water utilization efficiencies increased 29.7%-39.8% with Fenlong tillage compared to traditional tillage. We could conclude that Fenlong tillage combined with appropriate potassium fertilizer application significantly promote the potato growth, increase the potato yield and water-fertilizer utilization efficiency.

Keywords: potato; Fenlong tillage; potassium fertilizer; yield; dry matter accumulation; potassium accumulation; water utilization efficiency; fertilizer utilization efficiency

马铃薯因耐旱、易栽培、高产等优势已成为世界四大主粮作物之一。目前, 中国马铃薯年均种植达 500 万 hm^2 以上, 鲜薯年均产量占世界总产量的 1/4^[1-2]。长期以来, 马铃薯作为宁夏南部山区粮菜兼用作物, 种植面积已突破 27 万 hm^2 , 栽培面积和总产量居当地所有作物之首, 并已成为当地脱贫富民的特色产业作物^[3]。但由于宁夏南部山区土壤干旱贫瘠, 降雨稀少, 土壤养分缺乏, 加之农民不合理施肥, 造成土壤养分不均衡, 水肥利用率低下, 严重制约了该地区马铃薯产量的提高^[4-5]。

近年来, 广西壮族自治区农业科学院研发出一种替代传统耕作的新型深旋耕技术, 即粉垄耕作。该技术利用螺旋钻头垂直深入一定深度土层, 将土壤一次性切割旋磨, 使土壤粉碎呈颗粒状且不打乱土层, 一次性完成传统犁、耙、碎等作业, 耕作后的土壤松软透气, 保墒蓄水能力显著增强^[6]。该技术已应用于水稻、小麦、玉米、花生等, 在作物产量、土壤保墒方面有显著效果^[7-9]。张绪成等^[10]研究表明, 粉垄耕作可促进土壤供水和作物阶段耗水, 使马铃薯植株个体发育增强, 提高其产量和水分利用率, 实现抗旱增收。粉垄耕作技术可实现作物对水分的高效利用。

马铃薯作为一种喜钾作物, 易造成土壤中钾养分下降, 确保土壤中钾素充足供应是保证马铃薯优质高产的主要措施之一^[11]。多年单点试验和长期定位试验表明, 在宁夏南部旱作雨养农业区, 常规耕作下施用钾肥可有效提高马铃薯块茎产量, 氮钾肥合理施用有利于马铃薯干物质的累积^[2-3]。此外, 粉垄耕作可改变土壤中养分在耕层中的分布, 有效调蓄土壤中水分的合理分配, 有利于作物根系深扎, 便于根系摄取土壤深层的营养和水分, 促进产量显著提高^[12-13]。本研究中, 探讨在传统耕作和粉垄耕作条件下不同钾肥水平对马铃薯产量和水肥利用率的影响, 旨在为粉垄耕作下合理施用钾肥提供依据。

1 试验地概况

试验于宁夏西吉县新营乡白城村马铃薯科研试验站(36°6'9"N, 105°31'48"E, 海拔高度 2000 m)开展。该区域属温带大陆性气候类型, 气候冷凉, 年平均气温 5~6 °C, 无霜期 130 d 左右, 无灌溉设施条件, 近年平均降水量、日照时数分别为 392 mm 和 2300 h, 为典型雨养农业区。供试土壤为侵蚀黑垆土, 其基本理化性质列于表 1。

表1 供试土壤基本理化性质

Table 1 Basic properties of the tested soil

土层/cm	全氮/ ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	碱解氮/ ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	全磷/ ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	速效磷/ ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	速效钾/ ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	有机质/ ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	pH
≤20	1.27	45.66	0.83	22.20	251.70	16.92	8.46
>20~40	1.15	38.85	0.63	20.05	164.15	14.58	8.59
>40~60	1.04	30.80	0.53	11.57	154.87	12.37	8.73

2 材料与方法

2.1 供试材料

以该种植区主推品种青薯 9 号脱毒种薯原种为试验用种。供试氮肥为常规尿素(含 N 46%), 磷肥为磷酸二铵(含 N 18%、 P_2O_5 46%), 钾肥为硫酸钾(含

K_2O 50%)。粉垄机械由广西壮族自治区农业科学院提供。供试地膜为黑色薄膜(宽 1200 mm、厚 0.01 mm 的聚乙烯膜), 采购于灵武市塑料厂。

2.2 试验设计

试验于 2019 年 4 月末开始, 10 月初收获结束, 一年一熟。采用 2 因素裂区设计, 主处理为 2 种耕

作类型,即传统耕作(CT,深度20 cm)和粉垄耕作(FT,深度40 cm);副处理为5种施钾(K_2O)水平,即0、45、90、135、180 kg/hm^2 ,分别记为CK、K1、K2、K3和K4,共10个处理,每个处理3次重复,共计30个小区。各小区面积40 m^2 (8 m×5 m)。大田采用地膜覆盖,宽垄双行(垄宽0.8 m、垄高0.2 m)种植,密度45 000 穴/ hm^2 (行距0.5 m、株距0.4 m),播深20 cm。

氮肥(N)投用量为180 kg/hm^2 ,氮肥运筹按基肥与追肥7:3比例施用。基肥在耕作前人工撒施再翻耕入土,追肥在现蕾期(出苗20~30 d)施入。磷肥(P_2O_5)投用量为90 kg/hm^2 ,钾肥用量按试验处理设计施入,磷、钾肥作基肥一次性施入。

2.3 样品采集与分析

2.3.1 土壤样品采集与分析

于2019年春季作物播种前,按5点法采集≤20、>20~40、>40~60 cm耕层土样,同一层次样品剔除可见残枝落叶和石块并混合均匀,按四分法取1.00 kg土样用于土壤理化性质测定,各土层样品单独保存,剩余土壤按土层深度分别回填。参照文献[14]的方法,测定土壤样品的全氮、碱解氮、全磷、速效磷、速效钾、有机质质量分数和pH。

2.3.2 植株样品采集与分析

于马铃薯出苗3~4叶第1次取样,之后每间隔15 d取样1次。苗期、块茎形成期、块茎膨大期、淀粉积累期和收获期分别为出苗后26、41、71、101、116 d。每小区随机选取长势一致的马铃薯植株3株(苗期植株较小,选取8株),植株按照根、茎、叶和块茎4部分器官分别称取鲜质量后于105 $^{\circ}C$ 烘箱中杀青30 min,再降温至65 $^{\circ}C$ 烘干至恒重,分别

记录每株此4部分的干物质量和整株干物质量。烘干的植株样品粉碎并过孔径1 mm筛后,经浓硫酸-过氧化氢消煮,再采用火焰光度法测定全钾质量分数。根据植株干物质量和钾质量分数计算植株钾素累积量和钾肥利用率^[15]。

2.3.3 产量测定

鲜薯于2019年10月收获,各小区实打实收,测量单薯质量、单株薯质量、各小区鲜薯产量,再由小区产量折算单位面积马铃薯产量,并计算小薯率和商品薯率。薯块分级标准:小薯质量≤50 g;50 g<中薯质量<100 g;大薯质量≥100 g。

2.3.4 水分利用率测定

参照文献[16]的方法计算马铃薯的水分利用效率,其中采用烘干称重法测定土壤质量含水率,计算土壤贮水量;气象数据由科研试验站光伏电站环境监测系统(PC-2-T2型)监测。

2.4 数据处理与分析

数据运用Microsoft Excel 2010和IBM SPSS Statistics 26.0进行整理和统计分析;采用Curve Expert Professional对2种耕作方式下不同施钾量单株马铃薯干物质累积量进行Logistics方程拟合,以出苗天数(t)为自变量,单株马铃薯干物质累积量(y)为因变量。

3 结果与分析

3.1 耕作方式和钾肥用量对马铃薯干物质形成的影响

由图1可知,2种耕作条件下,各处理单株马铃薯全生育期内干物质累积趋势均呈“慢-快-慢”,

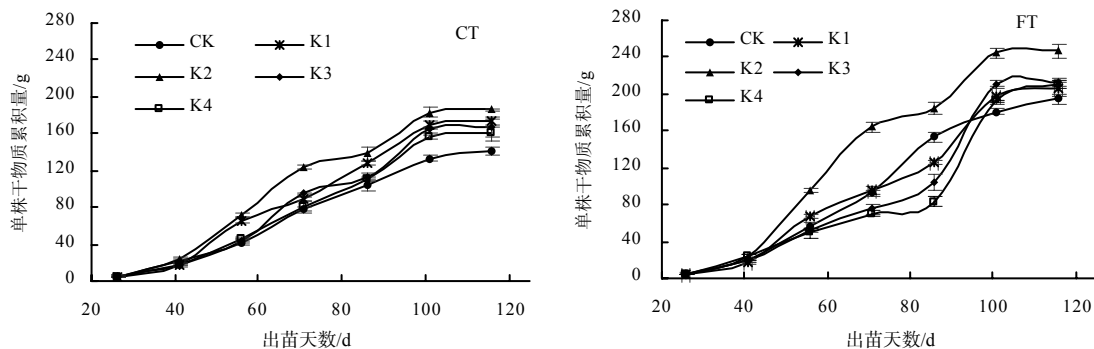


图1 不同耕作方式和钾肥用量下马铃薯的干物质累积量

Fig.1 The potato dry matter accumulation with different tillage methods and potassium fertilizer amounts

增长曲线近似于“S”形。马铃薯出苗后 26~41 d, 各处理单株马铃薯干物质累积量增长较为缓慢, 随后各处理进入干物质快速累积阶段, 到生育末期, 马铃薯干物质累积量又趋于稳定。与 CT 相比, FT 的各处理单株马铃薯干物质累积总量均明显提高, 说明 FT 有利于马铃薯生长与干物质生物量的累积。CT 下的 K2、K1、K3、K4、CK 的单株干物质累积总量依次减少, K2 的干物质累积总量显著高于其他施钾处理的, 其中 K1、K3、K4 处理间的差异无统计学意义。FT 下的 K2、K3、K4、K1、CK 的单株干物质累积总量依次减少, K2 显著高于其他处理的。2 种耕作条件下, K3、K4 施钾水平显著高于 K2 的, 但单株马铃薯干物质累积总量并未随施钾水平增加呈依次递增变化, 说明 FT 下钾肥养分合理施用有利于马铃薯干物质生物量累积。

由表 2 可知, 模拟方程均适用于 Logistic 生长函数 $y=a/(1+be^{-cd})$, 且各方程的相关系数均达到显

著水平; 2 种耕作方式下, 除 FT 的 K1 外, 施钾肥处理均提高了马铃薯的单株干物质累积最大速率 (V_{max}), 且均以 K2 的最大, 分别达 3.36、4.74 g/d, 较 CK 的分别增长 37.7%、32.0%。与 CK 相比, CT 下, K1、K2 的 V_{max} 出现时间较早, 较 CK 缩短了 0.5、6.8 d, K3、K4 的 V_{max} 出现时间则较晚, 分别延迟了 1.0、2.6 d; FT 下, K2 亦缩短了 V_{max} 的出现时间, 较 CK 缩短 7.3 d, 其他施钾处理均延迟了 V_{max} 的出现时间, K1、K3、K4 的 V_{max} 分别延迟了 6.9、15.7、26.6 d。对比表 2 中单株干物质累积平均速率 (V_{mean}) 可以看出, 2 种耕作方式下, 适量增施钾肥均可提高马铃薯的 V_{mean} 。2 种耕作方式相比, 同施钾肥量处理下, FT 可大幅提高马铃薯的 V_{max} 和 V_{mean} , 平均分别提高 33.3% 和 31.0%, 其中 FT 下 K2 的 V_{max} 和 V_{mean} 较 CT 下 K2 的分别提高 1.38、0.51 g/d。说明 FT 下合理施钾有利于提高马铃薯的 V_{max} 和 V_{mean} 。

表 2 不同耕作方式和钾肥用量下马铃薯干物质质量的 Logistic 模拟方程及参数

耕作方式	处理	模拟方程	相关系数	$V_{max}/(g \cdot d^{-1})$	t/d	$V_{mean}/(g \cdot d^{-1})$
CT	CK	$y=148.05/(1+107.16e^{-0.0662t})$	0.997 7	2.44	71.6	1.22
	K1	$y=187.27/(1+83.15e^{-0.0622t})$	0.986 9	2.91	71.1	1.52
	K2	$y=189.36/(1+99.69e^{-0.0710t})$	0.985 1	3.36	64.8	1.59
	K3	$y=180.18/(1+104.73e^{-0.0640t})$	0.985 6	2.88	72.6	1.46
	K4	$y=174.82/(1+106.45e^{-0.0629t})$	0.992 4	2.75	74.2	1.41
FT	CK	$y=204.18/(1+154.75e^{-0.0703t})$	0.996 8	3.59	71.7	1.69
	K1	$y=236.55/(1+77.92e^{-0.0554t})$	0.977 7	3.28	78.6	1.81
	K2	$y=248.56/(1+137.50e^{-0.0764t})$	0.981 9	4.74	64.4	2.10
	K3	$y=267.52/(1+141.93e^{-0.0567t})$	0.962 5	3.79	87.4	1.92
	K4	$y=311.84/(1+105.52e^{-0.0474t})$	0.954 8	3.69	98.3	1.88

3.2 耕作方式和钾肥用量对马铃薯产量及其构成要素的影响

由表 3 可知, 在 2 种耕作方式的单位面积穴数差异无统计学意义时, 与 CT 相比, 除 CK 的单株薯质量外, FT 相同钾处理的产量、单株薯质量、单薯质量和商品薯率均显著增加, 小薯率显著减小, 平均产量提高 23.3%; 与 CK 相比, 增施钾肥均对马铃薯具有显著增产效果, 其中 K2 增产效果最好, 产量分别达 38 233.0、45 122.5 kg/hm, 其次为 K1 或 K3; 在 2 种耕作方式下, 合理施钾均能提高单株薯质量、单株薯数、单薯质量和商品薯率, 降低

小薯率, 其中以 K2 的表现最好, 同一耕作方式内, K2 的单株薯质量和单薯质量均显著高于 CK 的; CT 下, K2 商品薯率显著高于其他处理的, 提高了 12.8%~26.6%; FT 下, K2 的小薯率显著低于 CK 的。双因素方差分析结果显示, 耕作方式和钾肥用量均极显著影响马铃薯的产量、单株薯质量、单薯质量和商品薯率, 显著影响单株薯数; 耕作方式还极显著影响小薯率, 但仅对商品薯率有显著的交互作用。可见, 通过改进耕作方式和合理施钾可提高大薯占比、单薯质量、单株薯数和单株薯质量, 进而提高马铃薯产量。

表3 不同耕作方式和钾肥用量下马铃薯鲜薯产量及其构成要素

Table 3 Fresh potato yield and its constituent elements with different tillage methods and potassium fertilizer amounts

耕作方式	处理	产量/(kg·hm ⁻²)	每 hm ² 穴数	单株薯质量/g	单株薯数	单薯质量/g	小薯率/%	商品薯率/%
CT	CK	(27 141.0±2181.9)d	44 335.5±763.8	(720.3±55.9)d	(5.4±0.3)b	(134.4±4.2)d	(8.6±0.6)a	(66.9±2.8)d
	K1	(32 144.5±2327.9)c	44 835.6±1258.4	(844.2±69.1)cd	(5.9±0.7)b	(144.0±8.6)d	(8.4±1.1)a	(75.1±5.0)c
	K2	(38 233.0±1729.4)b	44 002.2±1000.1	(1022.1±26.1)bc	(6.6±0.3)ab	(156.0±2.0)c	(6.9±1.0)a	(84.7±1.6)b
	K3	(33 172.0±2966.2)c	44 335.6±873.8	(879.7±63.9)cd	(6.1±0.1)ab	(144.3±8.7)d	(8.3±1.9)a	(74.8±3.1)c
	K4	(31 414.5±2709.1)c	44 168.9±1527.6	(838.5±92.8)cd	(5.9±0.8)b	(143.5±8.8)d	(7.7±2.0)a	(72.2±3.2)cd
FT	CK	(33 118.0±3053.3)c	44 668.9±1756.0	(875.4±114.5)cd	(5.5±0.5)b	(158.3±7.1)bc	(4.5±1.0)b	(86.5±1.1)b
	K1	(40 914.5±1540.6)b	45 168.9±1040.9	(1105.0±34.3)ab	(6.4±0.2)ab	(171.6±4.1)a	(2.6±0.9)bc	(89.6±1.5)a
	K2	(45 122.5±1921.4)a	44 835.6±1893.1	(1262.3±95.4)a	(7.3±0.6)a	(173.7±1.4)a	(1.7±0.3)c	(90.1±1.7)a
	K3	(40 533.5±855.9)b	45 002.3±1500.1	(1100.7±173.2)ab	(6.6±1.0)ab	(167.6±7.8)ab	(2.7±1.1)bc	(88.6±3.3)ab
	K4	(40 194.5±792.7)b	45 168.9±1756.0	(1090.8±183.4)ab	(6.5±1.2)ab	(169.7±6.1)ab	(2.6±2.3)bc	(87.7±1.0)ab
耕作方式		47.58**	1.57	35.32**	4.39*	102.27**	107.87**	136.09**
钾肥用量		9.98**	0.16	8.26**	3.93*	6.31**	1.82	8.72**
耕作方式×钾肥用量		0.38	0.07	0.25	0.15	0.52	0.45	3.93*

同列不同字母示各处理间在 0.05 水平上差异有统计学意义; “*”“**”分别示在 0.05 和 0.01 水平上有统计学意义。

3.3 耕作方式和钾肥用量对马铃薯不同生育期钾累积的影响

由表 4 可知, 钾累积量受耕作方式和钾肥用量影响较大, 且二者间交互作用对苗期至淀粉积累期钾累积影响极显著, 钾肥用量对肥料利用率影响显著; 不同施钾量下马铃薯全生育期钾累积动态变化为慢-快-慢, 各生育期的钾累积量表现为生长中后期大于苗期至块茎形成期, 说明马铃薯在生长中后期对养分需求较为旺盛; 在马铃薯收获期, K4 有

较高的钾累积量, 在同一耕作方式内, 显著高于其他处理的; 在整个生育期, 随施钾水平升高马铃薯的钾累积总量越多, 但肥料利用率以 K2 最高, 达 46.0%和 55.0%, 其次是 K1; 与 CT 相比, 相同钾用量时, FT 显著提高了马铃薯钾累积总量及 K1 和 K2 的肥料利用率, FT 对高钾肥力水平下肥料利用率的提高不显著。可见, 粉垄耕作与适量增施钾肥均可提高钾肥利用效率。

表4 不同耕作方式和钾肥用量下马铃薯各生育期的钾累积量

Table 4 Potato potassium accumulation in different growth periods with different tillage methods and potassium fertilizer amounts

耕作方式	处理	钾累积量/(kg·hm ⁻²)					肥料利用率/%	
		苗期	块茎形成期	块茎膨大期	淀粉积累期	收获期		总量
CT	CK	(8.5±0.3)g	(18.1±0.5)f	(54.4±3.7)f	(45.8±4.3)de	(6.0±2.7)cd	(132.8±3.4)f	
	K1	(11.6±0.2)bc	(38.1±1.8)a	(59.7±2.0)f	(35.0±5.5)ef	(6.6±4.5)cd	(151.0±0.5)e	(40.3±2.4)cd
	K2	(11.2±0.2)cde	(22.2±1.0)e	(110.2±1.4)b	(27.1±1.8)e	(3.7±5.5)d	(174.4±4.2)d	(46.0±3.4)bc
	K3	(11.4±0.3)cd	(8.7±0.9)h	(85.6±3.8)d	(52.7±4.1)cd	(19.9±4.1)c	(178.3±4.7)cd	(33.6±1.3)e
	K4	(12.8±0.1)a	(11.7±0.9)g	(78.8±3.4)de	(51.5±4.0)cd	(36.6±0.6)b	(191.4±3.9)bc	(32.5±2.0)e
FT	CK	(10.8±0.7)de	(24.7±2.4)d	(76.5±3.4)e	(57.3±7.6)c	(1.8±3.6)d	(171.1±5.2)d	
	K1	(9.9±0.1)f	(27.9±0.5)c	(99.9±7.7)c	(51.9±16.1)cd	(3.3±6.9)d	(192.9±8.8)b	(48.7±4.6)ab
	K2	(11.1±0.4)cde	(32.3±0.2)b	(144.9±7.3)a	(27.3±10.6)e	(4.5±4.3)cd	(220.1±2.1)a	(55.0±8.2)a
	K3	(10.5±0.2)e	(26.2±1.0)cd	(84.2±6.1)de	(67.2±5.8)b	(34.8±8.3)b	(222.9±13.5)a	(38.4±3.3)de
	K4	(12.0±0.2)b	(31.5±0.6)b	(45.7±5.6)g	(91.8±13.1)a	(53.3±21.2)a	(234.1±16.1)a	(35.0±2.0)de
耕作方式		2.81	427.12**	58.79**	70.72**	2.66	258.14**	4.14
钾肥用量		53.11**	165.81**	188.19**	32.89**	29.08**	60.13**	13.47**
耕作方式×钾肥用量		32.91**	158.42**	61.49**	5.52**	2.61	1.00	0.53

同列不同字母示各处理间在 0.05 水平上差异有统计学意义; “*”“**”分别示在 0.05 和 0.01 水平上有统计学意义。

3.4 耕作方式和钾肥用量对马铃薯水分利用率的影响

从表 5 可知,耕作方式与钾肥用量对水分利用效率均影响极显著,但两者无交互作用;除 K1 外,FT 收获期土壤贮水量显著高于 CT 的,FT 作物耗水量显著低于 CT 的,且相同的钾用量时 FT 的水分利用效率显著高于 CT 的,提高了 29.7%~39.8%,说明 FT 有利于土壤对水分的蓄积和作物对水分的

高效利用;CT 下,以 K2 的水分利用率最高,达 67.79 kg/(hm²·mm),显著高于 CK 的,且比其他处理提高了 16.8%~44.6%;FT 下,与 CK 相比,增施钾肥显著提高了水分利用率,但施钾肥处理间的差异无统计学意义,也以 K2 的水分利用率最高,为 87.9 kg/(hm²·mm),较 CK 增长 42.1%。可见,粉垄耕作下施钾 90 kg/hm²最有利于水分利用效率提高。

表5 不同耕作方式和钾肥用量下马铃薯的水分利用效率

耕作方式	处理	播前土壤贮水量/mm	收获期土壤贮水量/mm	生育期马铃薯耗水量/mm	水分利用效率/(kg·hm ⁻² ·mm ⁻¹)
CT	CK	(137.68±1.99)ab	(102.08±1.98)f	(578.90±1.95)a	(46.88±3.67)e
	K1	(131.74±3.34)bc	(122.45±4.40)cd	(558.53±4.40)cd	(57.58±4.60)cde
	K2	(144.4±2.74)a	(117.07±5.52)d	(563.91±5.52)c	(67.79±3.00)bc
	K3	(133.67±3.48)bc	(109.72±4.60)e	(571.26±4.60)b	(58.06±5.07)cde
	K4	(137.92±7.57)ab	(110.33±3.83)e	(570.64±3.84)b	(55.04±4.50)de
FT	CK	(137.10±3.14)ab	(145.56±1.95)a	(535.42±1.94)f	(61.86±5.73)cd
	K1	(126.81±1.88)c	(125.71±4.50)c	(555.27±4.49)d	(76.40±3.28)ab
	K2	(132.18±2.39)bc	(133.59±2.40)b	(547.39±2.40)e	(87.91±8.15)a
	K3	(133.44±5.46)bc	(134.70±2.25)b	(546.28±2.26)e	(76.92±10.83)ab
	K4	(135.82±5.47)b	(139.01±4.89)ab	(541.97±4.89)ef	(76.97±10.70)ab
耕作方式			276.77**	276.77**	62.35**
钾肥用量			0.55	0.55	9.65**
耕作方式×钾肥用量			22.44**	22.44**	0.23

同列不同字母示各处理间在 0.05 水平上差异有统计学意义;“*”“**”分别示在 0.05 和 0.01 水平上有统计学意义。

4 结论与讨论

本研究中,2 种耕作方式下,马铃薯出苗后 26~41 d,各处理的单株马铃薯干物质累积量增长较为缓慢,随后各处理进入干物质快速累积阶段,到生育末期,马铃薯干物质累积量又趋于稳定,马铃薯干物质累积符合 Logistic 方程。施用钾肥对提高干物质累积平均速率、最大速率和累积量具有积极作用,且干物质累积增长趋势与钾吸收累积变化趋势同步,均为生育前期较慢,中后期快速吸收累积,这与盛晋华等^[17]的研究结果相似。传统耕作下马铃薯植株干物质累积量显著低于粉垄耕作处理的干物质累积量。聂胜委等^[18]对玉米的研究结果表明,粉垄耕作可促进玉米整株干物质和根系干物质形成。本研究结果亦表明,粉垄耕作处理提高了马铃薯生育期内干物质累积平均速率和最大速率。高中超等^[19]认为,粉垄耕作促进植株干物质累积是由于深耕改善了土壤耕层构造,打破了土壤犁底层,起

到了扩库增容作用,促进了根系深扎和植株生长所致。合理的养分管理结合粉垄深耕措施共同促进了干物质累积量提高,为马铃薯高产打下了良好的物质基础。

本研究中,耕作方式与钾肥用量对钾累积、产量及其构成要素具有显著或极显著的影响;马铃薯的钾累积总量随施钾水平的提高而增加,但施钾 90 kg/hm²时产量与肥料利用率最高。这说明高钾肥力水平下,马铃薯钾累积增量远低于钾肥投入增量,进而导致肥料利用率降低;同时,合理的钾肥投入为植株提供丰富的钾源,为马铃薯干物质累积和产量形成打下养分基础。朱杰辉等^[20]研究表明,同等施肥水平下,栽培技术水平影响马铃薯产量。本研究中,同等肥力水平下,粉垄耕作的马铃薯钾累积总量与产量均显著高于传统耕作的,但粉垄耕作对高钾肥力水平处理的钾肥利用率提高效果不显著。康文钦等^[21]研究分析钾肥用量与产量的关系,指出马铃薯存在钾肥养分奢侈消费现象。粉垄耕作改善

了土壤水肥气热环境,促进了马铃薯根系对深土层养分的吸收利用,进而利于鲜薯高产。合理施钾显著提高了单薯质量、单株薯质量和商品薯率,进而显著促进高产形成。HADDOCK^[22]认为,马铃薯植株主营养 N、P、K 良好和适当均衡是马铃薯块茎获得高产的关键。单一养分元素过于丰盈反而抑制马铃薯高产。

本研究中,耕作方式与钾肥用量对水分利用率影响极显著,但两者无交互作用;粉垄耕作显著增强了土壤的贮水能力和土壤水分利用效率,进而促进了钾肥利用率的提高。李铁冰等^[9]认为粉垄克服了土壤跑墒的缺点,减少了作物耗水量,提高了土壤保蓄水分的能力和水分利用率。粉垄后的土壤土质松软,水分下渗快,能起到扩容增库作用,能有效保蓄天然降水,这些水分缓解了干旱月份对马铃薯的胁迫作用,提高了马铃薯对水肥的利用效率。

合理增施钾肥可提高马铃薯干物质累积量、产量和钾肥利用率,而对水分利用效率影响较小;相比传统耕作方式,粉垄耕作下不同钾肥用量对提升马铃薯产量、干物质累积、植株钾吸收和水分利用效率更具优势;2种耕作方式下均以施钾肥量 90 kg/hm²增产效果最佳。基于综合考量,在该研究区采用粉垄耕作结合适宜钾肥用量(推荐钾肥 90 kg/hm²)对马铃薯产量及水肥利用率提升效果最佳。

参考文献:

- [1] 郭成瑾,张丽荣,王喜刚,等. 推动马铃薯产业高质量发展助力宁夏乡村振兴[J]. 宁夏农林科技, 2019, 60(9): 98-99.
- [2] 曹哲,何文寿,侯贤清,等. 不同施氮量对马铃薯养分吸收及产量的影响[J]. 西南农业学报, 2017, 30(7): 1600-1605.
- [3] 何文寿,马琨,代晓华,等. 宁夏马铃薯氮、磷、钾养分的吸收累积特征[J]. 植物营养与肥料学报, 2014, 20(6): 1477-1487.
- [4] 廖佳丽,徐福利,赵世伟. 宁南山区施肥对马铃薯生长发育、产量及品质的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2009(4): 48-52.
- [5] 李荣,王艳丽,吴鹏年,等. 宁南旱区沟垄覆盖改善土壤水热状况提高马铃薯产量[J]. 农业工程学报, 2017, 33(10): 168-175.
- [6] 张莉,翟振,逢博,等. 深旋松耕改善耕层结构促进马铃薯增产[J]. 中国土壤与肥料, 2017(4): 17-23.
- [7] 聂胜委,张玉亭,张巧萍,等. 粉垄耕作对小麦玉米产量及耕层土壤养分的影响[J]. 土壤通报, 2017, 48(4): 930-936.
- [8] 韦本辉,刘斌,甘秀芹,等. 粉垄栽培对水稻产量和品质的影响[J]. 中国农业科学, 2012, 45(19): 3946-3954.
- [9] 李铁冰,逢焕成,杨雪,等. 粉垄耕作对黄淮海北部土壤水分及其利用效率的影响[J]. 生态学报, 2013, 33(23): 7478-7486.
- [10] 张绪成,马一凡,于显枫,等. 西北半干旱区深旋松耕作对马铃薯水分利用和产量的影响[J]. 应用生态学报, 2018, 29(10): 3293-3301.
- [11] 王耀,孙小娟. 不同种植模式下施肥对马铃薯产量和水肥利用效率的影响[J]. 西北农业学报, 2018, 27(2): 203-212.
- [12] 韦本辉,甘秀芹,申章佑,等. 粉垄栽培甘蔗试验增产效果[J]. 中国农业科学, 2011, 44(21): 4544-4550.
- [13] 韦本辉,甘秀芹,申章佑,等. 粉垄栽培木薯增产效果及理论探讨[J]. 中国农学通报, 2011, 27(21): 78-81.
- [14] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3版. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [15] 柳燕兰,郭贤仕,张绪成,等. 密度和施肥对旱地马铃薯干物质积累、产量和水肥利用的影响[J]. 作物学报, 2021, 47(2): 320-331.
- [16] 李芬,侯贤清,李荣. 沟垄二元覆盖对旱作马铃薯耗水特征、产量及水分利用效率的影响[J]. 核农学报, 2019, 33(12): 2472-2481.
- [17] 盛晋华,刘克礼,高聚林,等. 旱作马铃薯钾素的吸收、积累和分配规律[J]. 中国马铃薯, 2003, 17(6): 331-335.
- [18] 聂胜委,张玉亭,汤丰收,等. 粉垄耕作后效对夏玉米生长及产量的影响[J]. 山西农业科学, 2015, 43(7): 837-839.
- [19] 高中超,宋柏权,王翠玲,等. 不同机械深耕的改土及促进作物生长和增产效果[J]. 农业工程学报, 2018, 34(12): 79-86.
- [20] 朱杰辉,何长征,宋勇,等. 不同类型土壤中施肥量对马铃薯产量与品质的影响[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2009, 35(4): 423-426.
- [21] 康文钦,石晓华,敖孟奇,等. 马铃薯的钾素需求及营养诊断[J]. 中国土壤与肥料, 2013(2): 1-4.
- [22] HADDOCK J. The influence of irrigation regime on yield and quality of potato tubers and nutritional status of plants[J]. American Potato Journal, 1961, 38: 423-434.

责任编辑: 邹慧玲

英文编辑: 柳正