

中图分类号: S532 文献标识码: A 文章编号: 1672-3635(2022)01-0036-09

DOI: 10.19918/j.cnki.1672-3635.2022.01.005

全程液体配方肥追肥对膜下滴灌马铃薯的减肥增效作用

邢杰¹, 陈煜林², 丘智晃², 赖忠明^{3,4}, 李慧成¹, 姬静华⁴, 邓兰生^{2*}

(1. 内蒙古乌兰察布市农业技术推广站, 内蒙古 乌兰察布 012000; 2. 华南农业大学资源环境学院, 广东 广州 510642;

3. 内蒙古乡喜液体肥料有限公司, 内蒙古 乌兰察布 012000; 4. 东莞一翔液体肥料有限公司, 广东 东莞 523135)

摘要: 田间液体配肥站模式下, 根据内蒙古自治区乌兰察布市马铃薯的施肥现状, 以马铃薯‘黄心226’为试验材料, 设置了常规底肥和中耕肥+滴灌追肥(总养分1 200.5 kg/hm²)(CK), 不施底肥、全程滴灌追肥且追肥总养分分别为398.3 kg/hm²(T1)和531.0 kg/hm²(T2)3个施肥处理, 探究不施底肥, 全程液体配方肥追肥在膜下滴灌马铃薯的减肥增产增效作用。结果表明, T1和T2处理在施肥总量较CK分别减少66.82%和55.77%的情况下, 马铃薯地上部农艺性状、匍匐茎数、块茎数、生物量与CK的差异随时间推移逐渐缩小或不存在显著性差异, 但T1处理增产3.34%、增收3 144元/hm², T2处理提高了相对叶绿素含量, 且显著增产22.01%, 增收11 294元/hm²。综上, 不施底肥, 全程滴灌追肥且追肥总养分为531.0 kg/hm²的T2施肥模式, 可达到减肥、增产、增效的综合最优效果。

关键词: 液体肥; 追肥; 农艺性状; 产量; 大薯率; 经济效益

Effect on Fertilizer Application Reduction and Benefit Increase of Liquid Formula Additional Fertilizer Applied in Drip Irrigation Under Film During Whole Growth Period of Potato

XING Jie¹, CHEN Yulin², QIU Zhihuang², LAI Zhongming^{3,4}, LI Huicheng¹, JI Jinghua⁴, DENG Lansheng^{2*}

(1. Ulanqab Agricultural Technology Extension Station, Ulanqab, Inner Mongolia 012000, China;

2. College of Natural Resources and Environment, South China Agricultural University, Guangzhou, Guangdong 510642, China;

3. Inner Mongolia Xiangxi Liquid Fertilizer Co., Ltd., Ulanqab, Inner Mongolia 012000, China;

4. Dongguan Yixiang Liquid Fertilizer Co., Ltd., Dongguan, Guangdong 523135, China)

Abstract: Under the mode of field liquid fertilizer distribution station, according to the current situation of potato fertilization in Ulanqab City, Inner Mongolia Autonomous Region, three fertilization treatments, i.e. conventional base fertilizer combined with intertillage fertilizer + additional fertilizer applied in drip irrigation (total nutrients 1 200.5 kg/ha)

收稿日期: 2021-12-23

基金项目: 中央引导地方科技发展资金项目(1282240216232361984); 东莞市引进创新创业领军人才计划项目(东人函[2018]736号)。

作者简介: 邢杰(1965-), 男, 研究员, 主要从事土壤肥料试验、推广工作。

*通信作者(Corresponding author): 邓兰生, 副教授, 从事作物营养与灌溉施肥教学、研究和推广应用工作, E-mail: lshdeng@scau.

edu.

cn.

(CK), and additional fertilizer in drip irrigation only [total nutrients 398.3 kg/ha (T1) and 531.0 kg/ha (T2)], were set using the potato variety 'Huangxin 226' as the experimental material to investigate the effect on fertilizer application reduction and benefit increase of liquid formula additional fertilizer applied in drip irrigation under film during whole growth period of potato. Compared with CK, T1 and T2 treatments reduced the total fertilization rates by 66.82% and 55.77%. However, the differences in aboveground agronomic traits, stolon number, tuber number, and biomass among CK, T1 and T2 were not significant or declined over time. Compared with CK, T1 treatment increased yield by 3.34% and income by 3 144 Yuan/ha while T2 treatment improved relative chlorophyll content, significantly increased yield by 22.01% and income by 11 294 Yuan/ha. In summary, T2 treatment, i.e., drip fertilization at 531.0 kg/ha without application of base fertilizer, was the best fertilization mode to reduce fertilization rate, and increase yield and economic benefit.

Key Words: liquid fertilizer; additional fertilizer; agronomic trait; yield; large tuber percentage; economic benefit

马铃薯富含碳水化合物, 营养成分全面, 具有较高的营养价值, 是为人类提供能量和营养的良好食物来源^[1]。马铃薯具有较强的抗旱抗灾能力且产量相对稳定, 同时也是中国第四大粮食作物^[2,3]。内蒙古自治区中部是中国马铃薯集中种植的热点区域之一^[4]。乌兰察布市被誉为“中国马铃薯之都”, 马铃薯播种面积和产量均位居全国前列^[5]。据调查, 乌兰察布市当地马铃薯种植户均过分依赖基肥, 轻视追肥的重要性, 常把 60%~70% 的肥料作基肥施用, 而当地绝大部分土壤均为砂质土, 保水保肥能力弱, 大量的基肥施入土壤中会导致肥效前劲大而后劲不足^[6,7]。实际生产中, 马铃薯在块茎形成阶段需要大量的养分, 若追肥不到位就会令其产量下降^[8]。本试验针对基肥滥用与液体肥运输不便的问题, 探究在田间液体配肥站模式^[9]下, 不同的施肥方式(底肥 + 追肥结合, 不施底肥全程追肥)对马铃薯生长与产量的影响, 从而在马铃薯生产中确定减肥增效、增产增益的方案。

1 材料与方法

1.1 试验田概况

试验于 2020 年 4 月 30 日至 9 月 5 日在内蒙古自治区乌兰察布市察哈尔右翼后旗乌兰哈达牛明村(N 41°38'1.88", E 113°7'22.16")进行。该区平均海拔 1 900 m, 属中温带半干旱大陆性季风气候, 日照充分, 年平均日照时数 2 986.2 h, 年平均无霜期 70~102 d, 春季干旱多风, 夏季雨量集中, 年平均降雨量 292 mm。试验田的土壤质地为

砂壤土, 碱解氮 113 mg/kg、有效磷 14.5 mg/kg、速效钾 84.7 mg/kg、pH 8.09、EC 值 0.260 dS/m(土水比为 1:5)、有机质 1.51%。

1.2 试验材料

供试品种: 试验品种为‘黄心 226’, 种薯级别为原种。该品种为中晚熟品种, 生育期 100 d 左右, 株型直立, 薯形椭圆, 黄皮黄肉, 芽眼中等, 抗病性好。

供试肥料: 撒可富高磷高钾复合肥(N:P₂O₅:K₂O = 12:18:15)、液体尿素(N:P₂O₅:K₂O = 32:0:0)、农用硝酸钾(N:P₂O₅:K₂O = 13:0:46)、硫酸钾(N:P₂O₅:K₂O = 0:0:50)、由内蒙古乡喜液体肥料有限公司配制提供的马铃薯专用液体配方肥, 包含苗期配方肥(N:P₂O₅:K₂O = 5:5:5)、中期配方肥(N:P₂O₅:K₂O = 6:3:6)、后期配方肥(N:P₂O₅:K₂O = 4:3:7)。

1.3 试验设计

试验在水肥一体化的基础上探究不同的施肥方式和用量对马铃薯生长发育、产量及其组成和经济效益的影响。设置 3 个处理, 处理 1(T1)为不施任何底肥, 全程通过滴灌追肥为马铃薯提供养分, 追肥总养分为 398.3 kg/hm², 分 12 次追施; 处理 2(T2)为不施任何底肥, 全部通过滴灌追肥为马铃薯提供养分, 追肥总养分为 531.0 kg/hm², 分 12 次追施; 对照组(CK)为当地农户总养分投入 1 200.5 kg/hm², 马铃薯在传统底肥和中耕肥投入情况下, 追肥采用液体配方肥加液体尿素和硝酸钾, 共 8 次液体肥追肥, 4 次清水滴施, 根据目前当地的主要追肥习惯方案设置。每个处理分别

设3个重复,共9个种植小区,每个小区面积666 m²。试验地于2020年4月30日播种,小区采用一垄双行种植,垄距1.8 m,垄宽1.2 m,同行株距0.16 m,每个小区10垄,垄长37 m,播种密度为67 500株/hm²,5月30日出苗,6月1日第1次中耕,6月26日第2次中耕,9月5日收获。底肥和中耕肥通过机械施入,除中耕肥外的其他追

肥随滴灌水施入,每个处理单独安装施肥机(由内蒙古乡喜液体肥料有限公司提供),每个处理同步进行施肥或灌水,每次滴灌各处理的灌水量均保持一致。其他农艺措施,如病虫害管理和杂草控制,按照内蒙古自治区乌兰察布市农业技术推广站建议的指导方针和标准,在所有处理中都是相同的。各处理的施肥方案如表1所示。

表1 不同处理施肥方案
Table 1 Fertilization schemes of different treatments

施肥方式 Fertilizer application	施肥日期(D/M) Fertilizer date	处理1 Treatment 1	处理2 Treatment 2	处理3(CK) Treatment 3
底肥 Base fertilizer	30/04			撒可富高磷高钾复合肥 750 kg/hm ²
追肥 Additional fertilizer	01/06			撒可富高磷高钾复合肥 750 kg/hm ² , 硫酸钾 300 kg/hm ²
	07/06	苗期配方肥 225 kg/hm ²	苗期配方肥 300 kg/hm ²	苗期配方肥 150 kg/hm ² , 液体尿素 30 kg/hm ²
	16/06	苗期配方肥 225 kg/hm ²	苗期配方肥 300 kg/hm ²	苗期配方肥 150 kg/hm ² , 液体尿素 45 kg/hm ²
	22/06	苗期配方肥 225 kg/hm ²	苗期配方肥 300 kg/hm ²	苗期配方肥 150 kg/hm ² , 液体尿素 45 kg/hm ²
	27/06	中期配方肥 225 kg/hm ²	中期配方肥 300 kg/hm ²	中期配方肥 150 kg/hm ² , 液体尿素 45 kg/hm ²
	05/07	中期配方肥 225 kg/hm ²	中期配方肥 300 kg/hm ²	中期配方肥 150 kg/hm ² , 液体尿素 45 kg/hm ²
	12/07	中期配方肥 225 kg/hm ²	中期配方肥 300 kg/hm ²	等量清水
	19/07	中期配方肥 225 kg/hm ²	中期配方肥 300 kg/hm ²	后期配方肥 150 kg/hm ² , 硝酸钾 75 kg/hm ²
	25/07	中期配方肥 225 kg/hm ²	中期配方肥 300 kg/hm ²	等量清水
	29/07	中期配方肥 225 kg/hm ²	中期配方肥 300 kg/hm ²	后期配方肥 150 kg/hm ² , 硝酸钾 75 kg/hm ²
	03/08	后期配方肥 225 kg/hm ²	后期配方肥 300 kg/hm ²	等量清水
	08/08	后期配方肥 225 kg/hm ²	后期配方肥 300 kg/hm ²	后期配方肥 150 kg/hm ² , 硝酸钾 75 kg/hm ²
	13/08	后期配方肥 225 kg/hm ²	后期配方肥 300 kg/hm ²	等量清水

1.4 测定指标与测定方法

耕种前(施底肥前)在试验地通过“之”字形布点法^[10]采集25个样点混合成一个土壤样品,自然风干后分别过10目和100目筛,用于测定试验地土壤的本底值。在出苗后23,38,53和68 d在每个小区取3点,每个点随机挑选长势均匀的马铃薯植株1株。在田间通过卷尺测量马铃薯植株地上部分的高度记为株高,通过数显游标卡尺测量马铃薯主茎基部最粗处茎的纵横二向的直径的平均值记为茎粗,通过卷尺测量植株冠层水平方

向和垂直方向的距离并取其平均值记为冠幅,通过计数法统计马铃薯植株的茎节数、匍匐茎数和单株结薯数^[11]。用SPAD-502便携式叶绿素仪测定第4片叶子3个位点的SPAD值,取平均值。而后将马铃薯植株挖出,用清水清洗干净并吸干表面水分后,分部位测定马铃薯植株的鲜重,将各部位样品放入牛皮纸袋,置于105℃烘箱杀青30 min后,调至75℃烘至恒重,测量植株各部位生物量。测产时,在各小区随机选取1个点,挖取长3 m,宽1.8 m地块中的所有马铃薯,对每

一个马铃薯块茎进行单独称重, 记录马铃薯单薯重并进行马铃薯块茎重量分级(≤ 50 g 为小薯、 50 g $<$ 中薯 < 150 g、 ≥ 150 g 为大薯), 并计算各小区马铃薯的总产量和大薯率。

1.5 数据分析

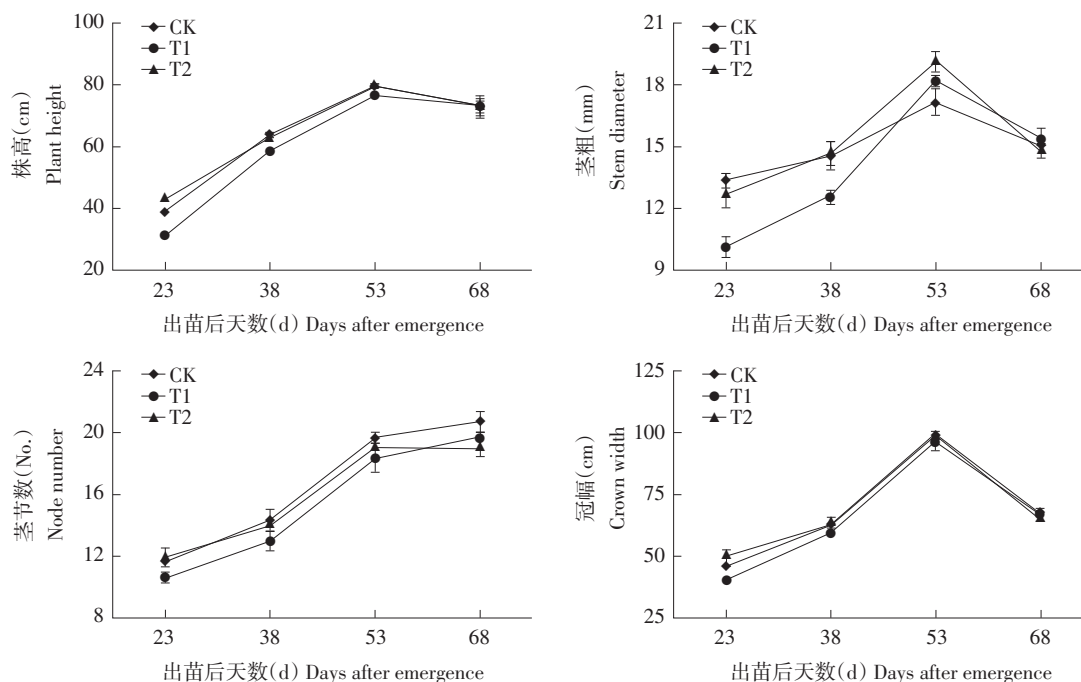
采用 Excel 2016 软件进行数据整理, 试验数据用 IBM SPSS Statistics 26.0 软件进行方差分析和 Duncan's 多重比较, 并用字母法标记, 使用 Origin 2019 软件进行绘图。

2 结果与分析

2.1 不同施肥处理对马铃薯农艺性状的影响

不同施肥处理对马铃薯的农艺性状存在一定

的影响(图 1)。在出苗后 23 d, T2 处理株高达到 42.83 cm, 明显高于 CK 处理和 T1 处理; 出苗后 38 和 53 d, T1 处理的株高明显矮于另两组; 出苗后 68 d, 3 个处理的株高差异消失。在前 3 次采样中, 除了出苗后第 53 d 的茎粗指标, T1 处理的茎粗、茎节数和冠幅均较 CK 处理和 T2 处理小; 出苗后 68 d, 3 个处理的茎粗和冠幅均无明显差异。综合来看, 株高和茎节数均表现为先升后稳定的趋势, 而茎粗和冠幅均表现出先升后降的趋势, 可能是因为植株在块茎膨大期, 地上部将大部分养分往块茎运移, 从而造成茎粗和冠幅的衰败。T2 处理和 CK 处理的长势在前期均相对优于 T1 处理, 但随着时间的推移, 该趋势逐渐消失。



注: 误差线是标准误。

Note: Error bar is standard error.

图 1 不同施肥处理对马铃薯农艺性状的影响

Figure 1 Effects of different fertilization treatments on agronomic characteristics of potato

2.2 不同施肥处理对马铃薯相对叶绿素含量的影响

T2 处理的相对叶绿素含量在出苗后 23, 38 和 68 d 这 3 个取样时期均显著高于 CK 处理和 T1

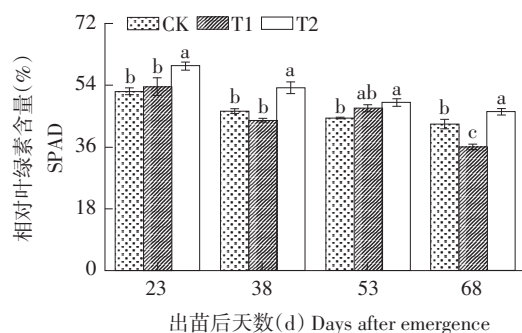
处理(图 2)。但随着时间的推移, T2 处理与 CK 处理的相对叶绿素含量的差距在逐渐缩小。从整体上看, 出苗后第 23 d, 不施底肥只进行液体配方肥追肥的 T1 和 T2 处理, 其肥料用量足够马铃

薯的正常生长所需,但在出苗后第38和68 d,相对于CK处理,T1处理的肥料投入量不足。另外,3个处理的相对叶绿素含量随着时间的推移均表现出下降的趋势(T1处理出苗后第53 d的数值除外)。若将前期肥料投入适当后移可能更有

利于提高马铃薯叶片中后期的相对叶绿素含量,而光合能力、积累有机物能力的提高,更有利于马铃薯块茎的形成。

2.3 不同施肥处理对马铃薯匍匐茎与块茎数的影响

不同处理的马铃薯的匍匐茎数量大致呈现出先增后稳的趋势,在出苗后第38 d开始趋于稳定,说明出苗后38 d内是马铃薯匍匐茎形成的关键时期(图3)。在出苗后第38 d,T1处理的匍匐茎数量最高,并与CK处理存在显著性差异,所以匍匐茎的数量可能与肥料的投入量存在一定的关系,相对高的肥料投入量可能会抑制匍匐茎的形成,但该影响在出苗后第68 d并不显著。而在出苗后第23~38 d是马铃薯的单株块茎数形成的关键时间段,并在第53 d开始趋于稳定。在出苗第38 d,马铃薯的单株块茎数表现为T1 > T2 > CK,这与该时期各处理之间的匍匐茎数量的趋势基本一致,说明马铃薯的单株块茎数可能与匍匐茎的数量存在一定的相关关系。另外,在出苗后第68 d,各处理的马铃薯的单株块茎数之间的显著性差异消失,这与匍匐茎数量的趋势表现一致。



注:误差线是标准误。不同小写字母表示指标在 $P < 0.05$ 水平存在显著差异,Duncan's多重比较。下同。

Note: Error bar is standard error. Treatment means with different lowercase letters indicate significant difference at $P < 0.05$ level as tested using Duncan's multiple range test method. The same below.

图2 不同施肥处理对马铃薯相对叶绿素含量的影响

Figure 2 Effect of different fertilization treatments on the relative chlorophyll content of potato

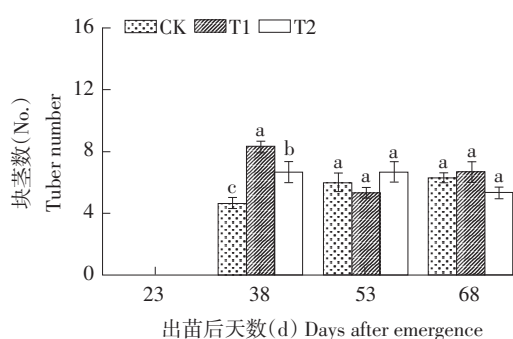
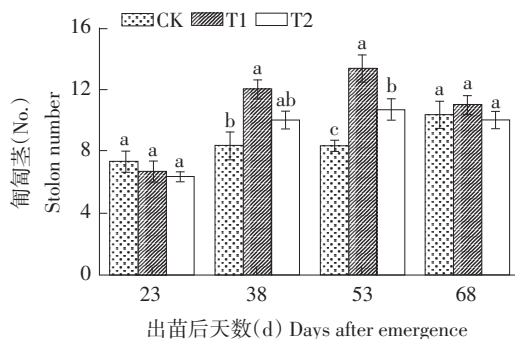


图3 不同施肥处理对马铃薯匍匐茎与块茎数的影响

Figure 3 Effects of different fertilization treatments on the number of stolons and tubers of potato

2.4 不同施肥处理对马铃薯生物量的影响

3个处理之间的叶干重、茎干重、地下部干重和块茎干重在4个取样时期均不存在显著差异(表2)。但在出苗后68 d,T1处理的叶干重、茎干重和地下部干重仅为CK处理的58.39%、41.87%和60.00%,为T2处理的58.66%、39.56%和

61.22%。从生物量上看,T1处理始终小于T2处理和CK处理,但仅在出苗后68 d与T2处理存在显著性差异。随着马铃薯植株的生长发育,3个处理下马铃薯的叶、茎、地下部干重都表现出先增后减的趋势,而3个处理在出苗后38~53 d,块茎干重以4.45 g/d的平均速率增长,在出苗后53~

68 d, 则以 4.91 g/d 的平均速率增长, 可能是因为肥料投入的量不足以满足块茎干物质量的快速积累, 地上部和地下部的营养大量往块茎运移,

导致了地上部和地下部的衰败, 且这也可能是 T1 处理的地上部和地下部衰败程度大于 CK 处理和 T2 处理的原因。

表 2 不同处理不同时期马铃薯的生物量
Table 2 Potato biomass in different treatments and different periods

出苗后天数(d) Days after emergence	处理 Treatment	叶干重(g/株) Leaf dry weight (g/plant)	茎干重(g/株) Stem dry weight (g/plant)	地下部干重(g/株) Underground dry weight (g/plant)	块茎干重(g/株) Tuber dry weight (g/plant)	生物量(g/株) Biomass (g/plant)
23	CK	7.90 ± 1.59 a	5.30 ± 0.86 a	0.90 ± 0.06 a	—	14.10 ± 2.51 a
	T1	5.73 ± 0.47 a	3.67 ± 0.54 a	0.83 ± 0.03 a	—	10.23 ± 1.03 a
	T2	8.73 ± 0.64 a	5.03 ± 0.37 a	0.87 ± 0.09 a	—	14.63 ± 0.92 a
38	CK	23.80 ± 3.93 a	19.30 ± 2.92 a	1.93 ± 0.68 a	17.17 ± 3.39 a	62.20 ± 9.28 a
	T1	20.47 ± 0.52 a	15.23 ± 0.47 a	1.73 ± 0.19 a	20.40 ± 1.35 a	57.83 ± 1.12 a
	T2	20.87 ± 3.90 a	18.00 ± 4.17 a	1.77 ± 0.58 a	20.00 ± 1.78 a	60.63 ± 8.18 a
53	CK	44.24 ± 5.87 a	54.05 ± 6.88 a	2.30 ± 0.08 a	85.27 ± 21.70 a	185.87 ± 34.44 a
	T1	36.61 ± 4.85 a	41.63 ± 7.04 a	2.25 ± 0.33 a	82.85 ± 6.17 a	163.35 ± 17.50 a
	T2	41.49 ± 1.11 a	49.59 ± 2.82 a	2.11 ± 0.09 a	89.90 ± 3.82 a	183.08 ± 5.48 a
68	CK	30.33 ± 9.73 a	36.92 ± 11.60 a	1.00 ± 0.43 a	152.34 ± 16.38 a	220.60 ± 23.83 ab
	T1	17.71 ± 0.28 a	15.46 ± 0.79 a	0.60 ± 0.05 a	146.87 ± 7.49 a	180.64 ± 7.35 b
	T2	30.19 ± 9.49 a	39.08 ± 12.33 a	0.98 ± 0.06 a	179.75 ± 28.99 a	250.00 ± 17.63 a

注: 地下部包括根、地下茎和匍匐茎, 不包括块茎。误差是标准误。不同时期同一列数据后不同小写字母表示指标在 $P < 0.05$ 水平存在显著差异, Duncan's 多重比较。下同。

Note: The underground part includes roots, underground stems, and stolons, excluding tubers. Error is standard error. Treatment means with different lowercase letters in the same column at different time points indicate significant difference in the index at $P < 0.05$ level as tested using Duncan's multiple range test method. The same below.

2.5 不同施肥处理下马铃薯的产量构成

T2 处理的鲜薯产量达到 56 499 kg/hm², 显著高于 CK 处理的 46 307 kg/hm² 与 T1 处理的 47 853 kg/hm², T1 与 T2 处理产量分别较对照提高 3.34%、22.01%。T2 处理的大薯产量为 43 638 kg/hm², 较 CK 处理高 12.29%, 较 T1 处理高 11.90%。另外, T2 处理的中薯产量显著高于 CK 处理和 T1 处理, 分别提高 83.87% 和 47.31%。T1 处理的大薯、中薯、小薯的产量与 CK 处理之间均无显著差异, 因此, 不施底肥只进行液体配方肥追肥在减肥 66.82% 的情况下, 并不会对马铃薯造成减产(图 4)。与 CK 处理相比, T1、T2 处理均表现为小薯率减小、中薯率增加、大薯率减少。与 CK 处理相比, T2 处理显著增产, 但大薯率降低, 中薯率偏高。未来可以

适当提高 T2 处理后期的肥料投入量, 有望进一步提高大薯率及大薯产量(表 3)。

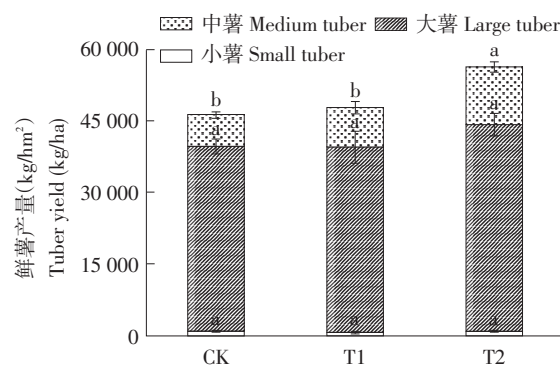


图 4 不同处理马铃薯产量与产量构成
Figure 4 Potato yield and yield composition under different treatments

2.6 不同处理肥料养分用量与经济效益分析

T1、T2处理与常规施底肥的CK处理相比, N、P₂O₅、K₂O的用量均大幅度减少。T1处理较CK处理减肥802.2 kg/hm², 即减少了66.82%的肥料用量, T2处理较CK处理减肥669.5 kg/hm², 即减少了55.77%的肥料用量(表4)。CK、T1和T2处理产值分别为68 880, 70 366和81 396元/hm², 减去肥料成本后, 净收益分别为58 582, 61 726和69 876元/hm²。与CK处理相比, T1处理产值增加3 144元/hm², 增益5.37%, T2处理产值增加11 294元/hm²增益19.28%(表5)。

表3 马铃薯大、中、小薯占比

Table 3 Proportion of large, medium and small potatoes

处理 Treatment	大薯率(%) Large tuber percentage	中薯率(%) Medium tuber percentage	小薯率(%) Small tuber percentage
CK	83.92	14.33	1.74
T1	81.49	17.31	1.20
T2	77.24	21.60	1.17

表4 不同施肥处理肥料纯养分投入

Table 4 Nutrient input of fertilizers in different fertilization treatments

处理 Treatment	N总用量(kg/hm ²) Total N (kg/ha)	P ₂ O ₅ 总用量(kg/hm ²) Total P ₂ O ₅ (kg/ha)	K ₂ O总用量(kg/hm ²) Total K ₂ O (kg/ha)	总养分用量(kg/hm ²) Total nutrients (kg/ha)	较CK减肥(kg/hm ²) Reduced dosage compared with CK (kg/ha)
CK	335.0	315.0	550.5	1 200.5	—
T1	141.8	94.5	162.0	398.3	802.2
T2	189.0	126.0	216.0	531.0	669.5

表5 不同施肥处理经济效益比较

Table 5 Economic benefits of different fertilization treatments

处理 Treatment	大薯产值(元/hm ²) Output value of large tubers (Yuan/ha)	中薯产值(元/hm ²) Output value of medium tubers (Yuan/ha)	小薯产值(元/hm ²) Output value of small tubers (Yuan/ha)	合计产值(元/hm ²) Total output value (Yuan/ha)	肥料投入(元/hm ²) Fertilizer input cost (Yuan/ha)	净收益(元/hm ²) Net profit (Yuan/ha)	较CK增值(元/hm ²) Increased output value compared with CK (Yuan/ha)
CK	62 180	5 972	727	68 880	10 298	58 582	—
T1	62 396	7 455	515	70 366	8 640	61 726	3 144
T2	69 821	10 982	593	81 396	11 520	69 876	11 294

注: 产值以当地马铃薯价格计算, 大薯1.6元/kg、中薯与小薯0.9元/kg。

Note: Output value is calculated based on local potato price, 1.6 Yuan/kg for large tubers and 0.9 Yuan/kg for medium and small tubers.

3 讨论

马铃薯出苗后23 d与出苗后38 d, 不施底肥全程液体配方肥追肥的T1处理(追肥总养分为398.3 kg/hm²)和T2处理(追肥总养分为531.0 kg/hm²)

与当地重底肥轻追肥的CK处理(总养分用量为1 200.5 kg/hm²)相比, 植株的茎粗、茎节数、生物量均相差不大。T1处理的株高与冠幅明显小于CK与T2处理, 有研究表明, 相对较高的氮素水平会使植物生长旺盛^[12]。在试验中, T1处理马铃

薯的苗期肥料总养分投入量(指6月1日至6月22日肥料的总养分投入量)仅为101.3 kg/hm², 远低于CK的593.4 kg/hm²与T2的135.0 kg/hm²。因此在马铃薯生长前期, T1处理马铃薯的株高与冠幅不如CK与T2处理; T2处理肥料施用量较CK处理少, 但出苗后23 d T2处理的株高达到42.83 cm, 明显高于CK处理, 说明在不施底肥的情况下, 苗期阶段追施纯养分135.0 kg/hm²的液体配方肥已经足以满足马铃薯植株苗期的生长所需, 但由于前期植株还较小, 追施液体配方肥时需遵循少量多次的原则。

马铃薯出苗后68 d, T1和T2处理的株高、茎粗、茎节数、冠幅、生物量、匍匐茎数、块茎数均与CK处理无明显差异。这表明以少量多次的滴灌追肥代替常规底肥和中耕肥+追肥的处理并不影响马铃薯植株的正常生长发育, 与沈宝云等^[13]对马铃薯的研究结果一致, 且可以大幅度提高肥料的利用率, 这与邓兰生等^[14]关于马铃薯滴灌施肥技术的研究结果一致。但是, T2处理的农艺性状优势在出苗后53和68 d, 与CK处理逐渐缩小, 而这可能是因为前期T2处理的生长较旺盛, 而中后期施肥频次与前期基本一致且追肥用量并没有随其长势适当提高, 造成肥料投入不足以支撑T2处理以前期的生长状态继续生长发育。

叶片的SPAD值除了能够反映植株的叶绿素含量外, 还能很好地反映植株的营养状况^[15]。前3次采样时期, T1处理的相对叶绿素含量均与CK处理相近且不存在显著性差异, 而T2处理的相对叶绿素含量均高于CK处理, 说明与CK处理的施肥方式相比, T1、T2处理在分别减肥66.82%、55.77%的情况下仍能保证马铃薯前中期的正常营养需求, 但在后期(出苗后68 d), T1处理的相对叶绿素含量显著低于CK处理和T2处理, 说明T1处理后期的肥料投入不足。童淑媛等^[16]研究表明功能叶片的SPAD值与单株生物量呈显著正相关, 这与本试验的研究结果一致, 本试验中相对叶绿素含量在4个取样时期均最高的T2处理, 其单株生物量也是最大的。

李成晨等^[17]研究表明, 在总养分肥料用量相同的前提下以滴灌追肥的施肥方式更能促进马铃薯提高产量, 而本试验结果表明, 即使总养分用量减少66.82%(T1)、55.77%(T2)的条件下, 以滴灌追肥代替重底肥轻追肥的施肥方式在砂壤土种植马铃薯, 产量分别提高3.34%、22.01%, 经济效益分别提高了3 144和11 294元/hm²。内蒙古自治区乌兰察布市的砂壤耕地通气透水性好而保水保肥能力较弱, 种植户在种植马铃薯时习惯将大部分的肥料当作底肥使用, 而有研究表明, 肥料施用量越高, 土壤渗漏量就越大^[18,19], 这样氮磷钾养分均容易被淋失而浪费, 且磷在土壤中的移动性小, 容易被土壤固定, 会进一步降低底肥中磷的利用率^[20,21]。而采用T1、T2处理少量多次滴灌追肥的施肥方式能够很好地避免肥料淋失的现象, 并且可以大大提高氮磷钾的有效性^[22]。因此T1、T2处理的肥料用量虽比CK处理要少得多, 但其马铃薯的产量可以不造成减产甚至能超过CK处理。

本田间试验表明, 单从肥料方面考虑, T1施肥方式在保证产量的同时肥料的投入量(总养分用量较常规施肥减少66.82%)和成本投入都最小; 而综合考虑, 通过T2施肥方式, 肥料养分投入量减少(总养分用量较常规施肥减少55.77%)的同时, 有利于降低小薯率, 又能保证获得高产量(增产10 192 kg/hm²)高效益(除去肥料成本净收入11 294元/hm²)。因此, 马铃薯生产上应该选用T2施肥方式, 即不施底肥, 总养分用量为531.0 kg/hm², 全程分12次滴灌追肥, 以达到减肥、增产、增效的效果。但是, 本试验中T2处理的中薯率较高, 大薯率较CK处理低, 而且T2处理在中后期与CK处理的各项指标的差异逐渐缩小, 因此未来可以在T2处理的基础上, 根据T2的长势, 适当提高中后期的肥料投入量^[23], 有望降低中薯率, 提高大薯率及大薯产量, 并进一步提高经济效益。

[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] 杨琳, 吴林科. 宁夏马铃薯育种工作的现状及前景 [J]. 中国马铃薯, 2002, 16(1): 54–56.
- [3] 秦永林, 樊明寿, 石晓华, 等. 马铃薯产业扶贫面临的问题与对策 [J]. 蔬菜, 2019(10): 78–82.
- [4] 张烁, 罗其友, 马力阳. 我国马铃薯区域格局演变及其影响因素分析 [J]. 中国农业大学学报, 2020, 25(12): 151–160.
- [5] 秦永林, 樊明寿, 崔石新, 等. 内蒙古滴灌马铃薯磷肥减施增效技术规程 [J]. 磷肥与复肥, 2021, 36(2): 14–16.
- [6] 梁宏, 今芝, 胡卫静, 等. 马铃薯减肥增效技术要点 [J]. 世界热带农业信息, 2021(6): 17–18.
- [7] Wang H, Wang X, Bi L, *et al.* Multi-objective optimization of water and fertilizer management for potato production in sandy areas of northern China based on TOPSIS [J]. Field Crops Research, 2019, 240: 55–68.
- [8] 潘刚. 马铃薯对环境条件的要求及种植技术要点 [J]. 现代畜牧科技, 2021(9): 67–68.
- [9] 涂攀峰, 胡克伟, 胡义熬, 等. 液体肥料配肥站介绍及发展趋势 [J]. 磷肥与复肥, 2021, 36(4): 49–52.
- [10] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法 [M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1999: 1–9.
- [11] 孙智广. 不同栽培模式对免耕马铃薯农艺性状和土壤养分的影响 [D]. 杨陵: 西北农林科技大学, 2014.
- [12] Adhikari R C. Effect of NPK on vegetative growth and yield of Desiree and Kufri Sindhuri potato [J]. Nepal Agriculture Research Journal, 2009, 9: 67–75.
- [13] 沈宝云, 康小华, 张宗雄, 等. 滴灌条件下不同基追肥比例对马铃薯生长发育、产量及经济效益的影响 [J]. 中国马铃薯, 2018, 32(5): 283–292.
- [14] 邓兰生, 林翠兰, 涂攀峰, 等. 滴灌施肥技术在马铃薯生产上的应用效果研究 [J]. 中国马铃薯, 2009, 23(6): 321–324.
- [15] 邓兰生, 齐庆振, 龚林, 等. 滴施不同铵硝比例氮肥对马铃薯生长的影响 [J]. 中国土壤与肥料, 2011(4): 13–16.
- [16] 童淑媛, 宋凤斌, 徐洪文. 玉米不同叶位叶片 SPAD 值的变化及其与生物量的相关性 [J]. 核农学报, 2008, 22(6): 869–874.
- [17] 李成晨, 索海翠, 罗焕明, 等. 化肥减施和施肥方式对马铃薯产量和块茎氮素积累的影响 [J]. 中国农业科技导报, 2021, 23(9): 173–183.
- [18] 张作新, 廖文华, 刘建玲, 等. 过量施用磷肥和有机肥对土壤磷渗漏的影响 [J]. 华北农学报, 2008, 23(6): 189–194.
- [19] 金洁. 分次施氮对稻田水层及渗漏水氮素影响动态变化研究 [D]. 杭州: 浙江大学, 2005.
- [20] 陆欣, 谢英荷. 土壤肥科学 [M]. 2 版. 北京: 中国农业大学出版社, 2002: 200–207.
- [21] 邱旭, 崔俊涛, 程伟. 解磷微生物的研究进展浅谈 [J]. 科技视界, 2016(7): 74, 143.
- [22] 邓兰生, 涂攀峰, 齐庆振, 等. 滴施液体肥对马铃薯产量、养分吸收积累的影响 [J]. 灌溉排水学报, 2011, 30(6): 65–68.
- [23] 王真, 王玉凤, 林团荣, 等. 高垄滴灌马铃薯减肥增效生产技术试验 [J]. 中国马铃薯, 2021, 35(4): 341–348.