

基于马铃薯需磷量确定沼液适宜施用量的试验研究

易贤明¹, 廖新倮¹, 吴银宝¹, 陈万良²

(1 华南农业大学 动物科学学院, 广东 广州 510642; 2 广东省博罗县农业局, 广东 惠州 516100)

摘要:田间小区试验探讨了在保持氮、钾平衡情况下,不同供磷水平的沼液施用量对马铃薯产量、品质、经济效益以及土壤养分含量的影响,并以此来分析基于需磷量来确定沼液用量在作物种植上的可行性.结果表明,当沼液供磷水平为90、135、180 kg·hm⁻²时,马铃薯产量分别比化肥组增产10.98%、16.54%和18.37%,产投比分别比化肥组高0.9、1.0、1.3,但两者产量无显著差异.虽然与施用化肥相比马铃薯粗蛋白、可溶性总糖、淀粉含量没有明显差异,但是沼液的施用能显著提高马铃薯还原糖含量.同时,磷当季利用率以中供磷水平组(90 kg·hm⁻²)最高(12.50%),化肥组最低(6.80%).化肥的施用能显著提高种植后土壤碱解氮、速效钾含量,而中高供磷水平(90、135、180 kg·hm⁻²)沼液的施用则使土壤有机质、碱解氮、速效钾含量都得到了显著的提高,其中供磷水平为180 kg·hm⁻²的处理还能显著增加种植后土壤速效磷含量.综上所述,基于马铃薯需磷量来确定沼液用量可行,在磷匮乏和磷充足的土壤,沼液供磷水平分别以180、90 kg·hm⁻²为宜.

关键词:沼液; 需磷量; 马铃薯; 施用量

中图分类号:S181 文献标志码:A 文章编号:1001-411X(2012)02-0140-06

Feasibility Analysis of Qualifying Slurry Fertilization Based on the Phosphorus Requirement of Potato

YI Xian-ming¹, LIAO Xin-di¹, WU Yin-bao¹, CHEN Wan-liang²

(1 College of Animal Science, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China;
2 Boluo Agricultural Bureau of Guangdong, Huizhou 516100, China)

Abstract: With the series of field trails, the feasibility of qualified biogas slurry applied in crop production based on phosphorus demand was discussed in terms of phosphorus levels from pig slurry on potato yield, quality and economic benefit, and soil nutrient content under the balance of N and K content. The results showed that the potato productivity and the ratio of output to input were increased by 10.98%, 16.54%, 18.37% and 0.9, 1.0, 1.3 respectively with the application level of phosphorus provided by slurry of 90, 135, 180 kg/hm² compared with the chemical fertilizer application. However, there was no significant potato yield between the chemical fertilizer treatment and biogas slurry treatments. The reducing sugar content were obviously higher for slurry application with different levels of phosphorus but no significant improvement of crude protein, total soluble sugar, starch were observed in comparison to chemical fertilization. Meanwhile, the highest utilization rate of phosphorus (12.50%) in current season was obtained with the slurry application providing with phosphorus of 90 kg/hm², and the lowest one (6.80%) was the fertilizer treatment. In addition, the slurry application treatments with the phosphorus amount of 90, 135, 180 kg/hm² could significantly increase the content of soil organic matter, available nitrogen and available potassium after planting, especially with the slurry treatment of providing with

收稿日期:2011-11-02
作者简介:易贤明(1985—),男,硕士研究生;通信作者:廖新倮(1968—),男,教授,博士,E-mail:xdliao@scau.edu.cn
基金项目:现代农业产业技术体系项目(CARS-41);全球环境基金东亚家畜废物管理项目(TF56519-CHA);广东省科技计划项目(2009A020101005,2008A020100010)

phosphorus at the rate of 180 kg/hm² could significantly improve available phosphorus concentration of soil. While the fertilizer treatment only obviously increased the content of available nitrogen and potassium after planting. In conclusion, it was feasible to determine amount of biogas slurry based on the potato demand of phosphorus in agriculture production. The appropriate amount of biogas slurry application in potato was 90 kg/hm² with the upper-middle content of soil phosphorus, while the amount should be added at 180 kg/hm² in soil with phosphorus deficiency.

Key words: biogas slurry; phosphorus requirement; potato; application rates

近年来,沼液处置已成为制约沼气工程推广和沼气循环农业建设的主要因素.沼液处理最直接、最有效的方式是农田利用,即把沼液作为一种液体肥料施用到农田中.但是,在生产实践中,沼液的施用通常仅凭农户的经验,缺乏科学依据,这显然不利于农业生产,也容易引起二次污染.因此,急需建立沼液施用的标准制度来规范沼液的使用.很多学者在这方面开展了大量的研究,其中,沼液配施化肥因较易调节养分配比而受到广泛的关注^[1-4],但这些研究侧重于沼液和化肥施用的配比,较少指出这种施用效果是由什么引发的.于是,有学者开始探索沼液中氮素对植物的效应,即把沼液作为一种氮源来研究其对作物的影响^[5-7].一般来说,植物对氮、磷的需求比例与沼液提供氮、磷比例不一致,只考虑满足作物需氮,会使土壤磷含量增加,造成土壤磷过剩和水体富营养化,而基于施磷量来施肥可降低磷在土壤中的富集,从而减少磷的径流损失^[8].当前,我国磷矿资源紧缺,如果沼液能替代农用磷肥,那么对磷矿资源的战略储备具有重要的意义.另外,冬种马铃薯已成为我国南方地区农业发展的一个新亮点,如果沼液与马铃薯相结合,一方面可促进马铃薯产业的发展,另一方面可解决冬季沼液处置的问题.因此,本试验从马铃薯需磷量出发,探索在氮、钾平衡情况下,不同供磷水平的沼液施用量对马铃薯产量、品质和土壤的影响,从而分析基于作物需磷量来确定沼

液用量在作物种植上的可行性,为规范当地沼液的施用提供依据.

1 材料与方法

1.1 试验地点与作物

试验地块位于广东省惠州市博罗县园洲镇(北纬 23° 6'55.47",东经 113°57'13.33")一农场(场主陈万良),属亚热带季风气候,年平均气温 21.8℃,年均降水量 1 814 mm,平均日照 2 023 h,无霜期长达 345 d,1 月均温 12.8℃,7 月均温 28.4℃.试验选用在当地具有广泛种植面积的马铃薯品种:粤引 85-38(费乌瑞它).

1.2 供试土壤与肥料

试验田前茬作物为水稻,土质为沙壤,养分状况(0~30 cm):有机质 7.58~9.25 g·kg⁻¹;全氮 0.43~0.51 g·kg⁻¹;全磷 0.51~0.57 g·kg⁻¹;全钾 25.89~26.17 g·kg⁻¹;碱解氮 30.77~45.30 mg·kg⁻¹;速效磷 39.86~45.37 mg·kg⁻¹,速效钾 44.28~59.46 mg·kg⁻¹;全锌 34.31~38.08 mg·kg⁻¹,全铜 12.02~16.63 mg·kg⁻¹,经方差分析,各处理土壤养分含量均无显著差异($P>0.05$),表明土壤是均质的.试验所用沼液养分状况见表 1;所用尿素($w(N)=46\%$)为湖北大田公司生产;普钙[$w(P_2O_5)=12\%$]由广西西江化工有限公司生产;氯化钾[$w(K_2O)=60\%$]原产地加拿大由中化化肥有限公司经销.

表 1 沼液养分质量浓度
Tab.1 Nutrient content of biogas slurry

试验次数	全氮	全磷	全钾	全铜	全锌
第 1 次	599.97 ± 3.38	92.40 ± 0.59	389.20 ± 5.33	0.67 ± 0.01	2.00 ± 0.02
第 2 次	2 792.00 ± 15.31	1 177.00 ± 14.73	581.07 ± 36.73	93.53 ± 4.16	326.57 ± 19.36

1.3 试验设计

根据当地马铃薯测土配方推荐施肥量和土壤实测养分情况,设定常规处理化肥组(F)施肥量 N、P₂O₅、K₂O 分别为 270、90、345 kg·hm⁻².在 N 和 K 分别保持 270 和 345 kg·hm⁻²水平下,采用随机区组设

计,设置 5 个沼液供 P(P₂O₅)水平为 0(S0)、45(S45)、90(S90)、135(S135)、180(S180) kg·hm⁻²,对照(CK)为不施肥处理(表 2),每个处理 3 次重复,共 21 个小区.每个小区面积为 25 m²,有 4 畦,畦宽 1.2 m(包沟),高 0.2 m.小区间筑埂,可单排单灌.

表 2 马铃薯施肥试验处理设计

Tab. 2 Experimental treatment of potato fertilization

试验组	施肥量/(kg·hm ⁻²)		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
CK	0	0	0
F	270	90	345
S0	270	0	345
S45	270	45	345
S90	270	90	345
S135	270	135	345
S180	270	180	345

1.4 播种、施肥及田间管理

马铃薯于 2010 年 11 月 5 日播种. 种薯切块后, 用滑石粉(每 50 kg 种薯添加 50 g 多菌灵, 50 g 瑞毒霉)进行消毒, 然后晾干. 采用双行种植, 株距为 0.25 m, 在种植时将芽眼朝向土壤, 然后轻覆土, 用干稻草(用量按 1 950 kg·hm⁻²计)覆盖, 再轻覆泥, 以防止稻草被吹散. 病虫害的防治、水分及田间的管理按常规进行. 2011 年 3 月 5 日, 马铃薯成熟收获.

马铃薯生长期共施肥 3 次, 具体施肥量见表 3. 第 1 次是在马铃薯播种前施用氮肥 40%、磷肥 21% 和钾肥 25% 作为基肥, 第 2 次在苗期施入氮肥 60%、磷肥 79% 和钾肥 37.5%, 每次施肥前测定沼液中 N、P、K 含量, 然后根据每次 P 用量来计算沼液用量, 并依沼液提供 N 和 K 的量来确定补施化学 N 肥和 K 肥的量. 为了减少由于施用沼液所带来水分的差异, 施肥时各处理用清水调节到与沼液最大用量组相同的体积.

表 3 各处理施肥量

Tab. 3 Fertilizer amount of each treatment

试验组	尿素/		普钙/		氯化钾/			沼液/	
	(kg·hm ⁻²)		(kg·hm ⁻²)		(kg·hm ⁻²)			(m ³ ·hm ⁻²)	
	第 1 次	第 2 次	第 1 次	第 2 次	第 1 次	第 2 次	第 3 次	第 1 次	第 2 次
CK	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
F	231.2	355.8	156.3	593.7	143.7	215.7	215.7	0.0	0.0
S0	231.2	355.8	0.0	0.0	143.7	215.7	215.7	0.0	0.0
S45	173.4	275.6	0.0	0.0	109.2	200.3	215.7	44.3	13.2
S90	115.5	195.5	0.0	0.0	74.9	184.9	215.7	88.7	26.4
S135	57.8	115.2	0.0	0.0	40.4	169.5	215.7	132.9	39.6
S180	0.0	34.9	0.0	0.0	5.9	154.2	215.7	177.2	52.8

1.5 测定指标及方法

马铃薯收获时按小区计产; 同时, 取马铃薯块茎样品, 测定粗蛋白、可溶性总糖、还原糖、淀粉及全磷含量, 取马铃薯地上部样品, 测定全磷含量. 在马铃薯播种前和收获后, 取土壤样品, 测定有机质、全氮、全磷、全钾、碱解氮、速效磷、速效钾、全铜、全锌. 以上测定方法参照《土壤农化分析》^[9].

磷肥当季利用率计算公式: P 肥当季利用率 = [施肥处理 P 吸收量 - 缺磷处理 P 吸收量] ÷ P 施入量 × 100%.

1.6 数据处理及分析

数据用 EXCEL 处理, SPSS17.0 分析. 用 ANOVA 进行单因素方差分析, 用邓肯氏新复极差检验法进行多重比较. 数据为 3 次重复平均值.

2 结果与分析

2.1 沼液不同供磷水平对马铃薯产量的影响

从表 4 可知, F 组马铃薯产量显著高于 CK 和 S0 组, 表明施肥及增施磷肥能显著增加马铃薯的产量. 沼液处理组马铃薯产量与 CK 组马铃薯产量差异达到显著水平 ($P < 0.05$), 表明施用不同供磷水平的沼液也能显著提高马铃薯的产量. 在沼液处理组中, S45 组马铃薯产量比 S90、S135 和 S180 组分别低 17.72%、23.62% 和 25.55%, 其中与 S135 和 S180 组的差异达到显著水平 ($P < 0.05$), 说明低供磷水平的沼液施用不能满足马铃薯生长发育的需要. 另外, S90、S135 和 S180 组的产量比 F 组的产量分别提高 10.98%、16.54% 和 18.37%, 但都未达到显著水平 ($P > 0.05$). 以上表明, 在本试验地块上: 施肥及施用适量的磷肥均能显著增加马铃薯的产量; 中高供磷水平 ($\geq 90 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$) 的沼液施用比单施化肥更利于马铃薯增产.

表 4 沼液不同供磷水平种植处理马铃薯产量¹⁾

Tab. 4 The yield of potato fertilized biogas slurry with different levels of phosphorus

试验组	小区产量 ²⁾ / (kg·m ⁻²)	产量 / (kg·hm ⁻²)	增产率 / %	商品率 / %
CK	2.01 ± 0.05a	20 100.75a		77.54
F	2.74 ± 0.27cd	27 463.65cd	36.63	78.06
S0	2.15 ± 0.11ab	21 551.70ab	7.22	83.71
S45	2.59 ± 0.19bc	25 892.55bc	28.82	86.26
S90	3.04 ± 0.09cd	30 481.05cd	51.64	86.29
S135	3.20 ± 0.26d	32 007.45d	59.24	81.43
S180	3.25 ± 0.07d	32 506.80d	61.73	84.64

1) 同列数据后凡是有一个相同小写字母者表示差异不显著 ($P > 0.05$, Duncan's 法), 商品薯是指 > 50 g 完好的马铃薯; 2) 数据为平均值 ± 标准误.

马铃薯的大小不同, 其使用价值和市场价格不一, 一般大、中薯的价格比小薯高 30% 以上, 因此大、中薯的比例即商品薯率直接影响马铃薯生产的收益. 本试验发现, 马铃薯的商品率以 CK 组最低 (77.54%), S90 组最高 (86.29%); 沼液处理组 S45、S90、S135 和 S180 分别比 F 组高 8.21%、8.23%、3.37% 和 6.58%. 说明施用沼液比施用化肥更利于

提高马铃薯的商品率,以中供磷水平(S90组)效果较好.

2.2 沼液不同供磷水平对马铃薯品质的影响

由表5可知,(1)粗蛋白:与不施肥相比,施肥能显著提高马铃薯块茎粗蛋白含量($P < 0.05$),提高幅度从大到小依次为S0组(1.74%)、F组(1.68%)、S180组(1.54%)、S45(1.44%)、S135(1.28%)和S90(1.15%).与施用化肥相比,沼液的施用未显著提高粗蛋白含量($P > 0.05$).在沼液处理组中,粗蛋白含量有随供磷水平的提高呈先下降后稍上升的趋势,但各沼液组间无显著差异($P > 0.05$). (2)可溶性总糖:可溶性糖质量分数最高的是F组达2.43%,最低的是S135组为1.79%;但所有处理之间可溶性糖含量均无显著差异($P > 0.05$). (3)还原糖:还原糖质量分数最低的是F组为0.30%,最高的是S135组为0.64%. S0、S45、S90、S135和S180组还原糖含量分别比F高0.16%、0.16%、0.22%、0.34%和0.20%,均与F组差异显著($P < 0.05$).在沼液处理组中,还原糖含量有随供磷水平增加呈现先增加后下降的趋势,其中,S135组显著地高于S45和S180组($P < 0.05$). (4)淀粉:F、S0、S45、S90、S135和S180组比CK组分别增加1.19%、6.61%、2.74%、0.23%、7.51%和8.95%;S135和S180组比F组分别增加6.32%和7.76%,但所有处理之间淀粉含量差异均不显著($P > 0.05$).以上说明,在本试验条件下,施肥对马铃薯可溶性总糖和淀粉含量无显著影响,但高供磷水平的沼液施用有提高淀粉含量而降低可溶性总糖的趋势.与施用化肥相比,不同供磷水平的沼液施用对马铃薯粗蛋白没有显著影响,但能显著提高还原糖含量.

表5 沼液不同供磷水平种植马铃薯的营养品质¹⁾
Tab.5 Nutritional quality of potato fertilized biogas slurry with different levels of phosphorus

试验组	w/%			
	粗蛋白	可溶性总糖	还原糖	淀粉
CK	6.79 ± 0.24a	1.81 ± 0.12a	0.31 ± 0.04a	77.05 ± 2.55a
F	8.47 ± 0.41b	2.43 ± 0.08a	0.30 ± 0.05a	78.24 ± 0.64a
S0	8.53 ± 0.24b	2.13 ± 0.39a	0.46 ± 0.05b	83.66 ± 2.75a
S45	8.23 ± 0.48b	2.17 ± 0.51a	0.46 ± 0.04b	79.79 ± 9.74a
S90	7.94 ± 0.28b	1.94 ± 0.47a	0.52 ± 0.04bc	77.28 ± 0.90a
S135	8.07 ± 0.19b	1.79 ± 0.15a	0.64 ± 0.003c	84.56 ± 3.61a
S180	8.33 ± 0.05b	1.87 ± 0.20a	0.50 ± 0.02b	86.00 ± 3.07a

1) 营养品质的检测以干质量为基础,表中数据为平均值 ± 标准误,同列数据后凡有一个相同小写字母者表示差异不显著($P > 0.05$, Duncan's 法).

2.3 沼液不同供磷水平种植马铃薯的经济效益分析

表6表明,随着施用沼液的供磷水平增高,生产

投入降低,而产值、净产值及产投比都递增.当沼液供磷水平为180 kg · hm⁻²,马铃薯净产值为64 827.0元 · hm⁻²,产投比高达4.2,比常规种植减少10.6%成本投入,达到了48.8%的增收,表明用沼液种植马铃薯比用化肥种植马铃薯能获更大的经济效益,且随着沼液供磷水平的提高而提高.

表6 沼液不同供磷水平种植马铃薯的经济效益¹⁾
Tab.6 Economic benefit of potato fertilized biogas slurry with different levels of phosphorus

试验组	投入/ (元 · hm ⁻²)	产值/ (元 · hm ⁻²)	净产值/ (元 · hm ⁻²)	减投 比/%	增收/ %	产投比
F	22 893.0	66 457.5	43 566.0			2.9
S45	21 604.5	69 238.5	47 634.0	5.6	9.3	3.2
S90	21 225.0	81 537.0	60 312.0	7.3	38.4	3.8
S135	20 847.0	80 797.5	59 950.5	8.9	37.6	3.9
S180	20 466.0	85 293.0	64 827.0	10.6	48.8	4.2

1) 试验田生产成本计为:纯N 5.2元 · kg⁻¹、P₂O₅ 5.0元 · kg⁻¹、K₂O 5.3元 · kg⁻¹、种薯6 300元 · hm⁻²、农药2 250元 · hm⁻²、人工7 500元 · hm⁻²、整地费用900元 · hm⁻²;马铃薯收购价3.1元 · kg⁻¹.

2.4 沼液不同供磷水平下磷素当季利用率

肥料当季利用率表明当季作物对养分吸收利用的状况,其值越大,表明养分被植物吸收利用越多,而发生损失或被土壤固定的越少.沼液处理组磷肥当季利用率都比化肥组高,其中,S90组最高为12.50%,其次是S45组(图1).在沼液处理组中,P当季利用率随着供磷水平的提高而出现先升高后下降的趋势.以上说明,沼液的施用有利于磷肥当季利用率的提高,以中供磷水平(90 kg · hm⁻²)的效果最好.据报道,马铃薯磷肥当季利用效率为14.8%^[10],本试验中,磷肥当季利用率都低于14.8%,这可能主要是土壤状况、施肥量及气候不同而造成的.

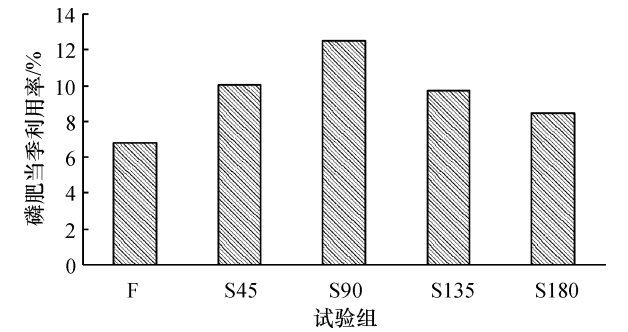


图1 沼液不同供磷水平种植马铃薯的磷素当季利用率
Fig.1 Phosphorus utilization ratio in season of potato fertilized biogas slurry with different levels of phosphorus

2.5 种植前后土壤养分变化

(1)土壤有机质(图2A):S90、S135和S180组种植后的土壤有机质含量显著高于种植前($P < 0.05$),分别增加24.13%、15.37%和30.99%,表明

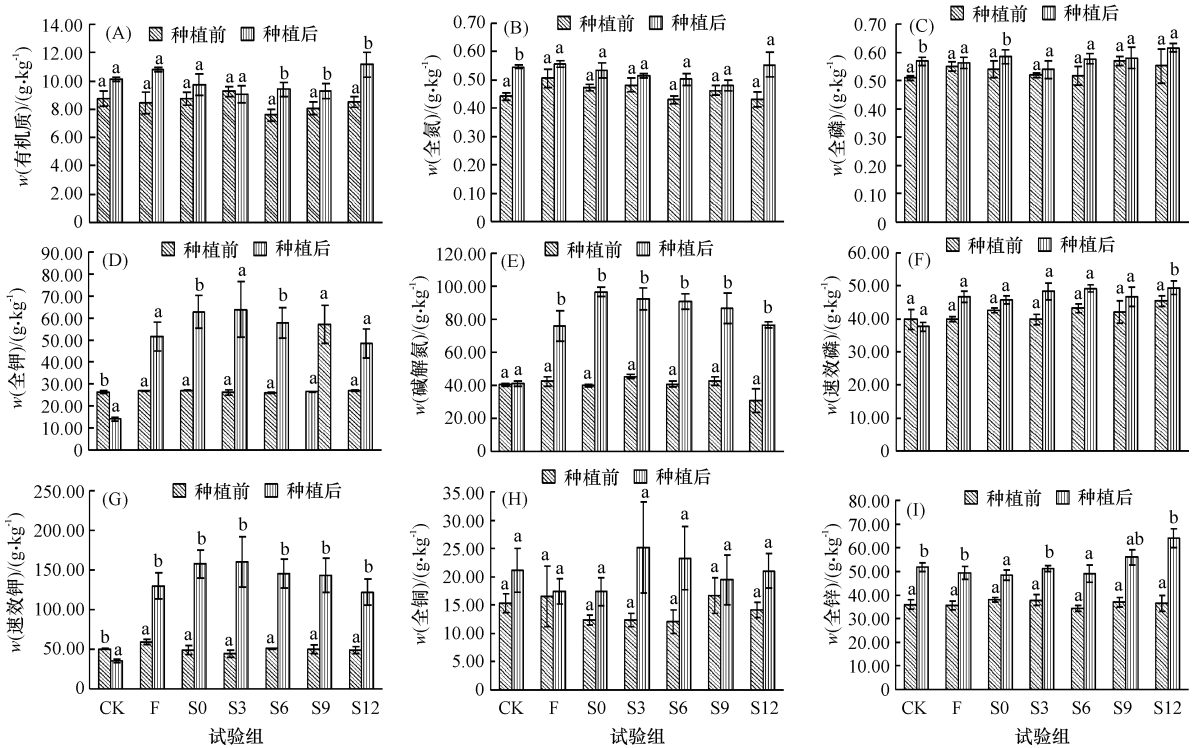
中高供磷水平沼液的施用可以显著提高土壤有机质含量,如长期施用有改善土壤肥力的潜力. (2)全氮(图 2B):所有处理组土壤全氮含量在种植后都有不同程度增加,但只有 CK 组差异显著 ($P < 0.05$),增幅为 23.72%,这可能是覆盖的稻草随着植物生长期的推进在微生物的作用下发生了氮素的矿化,而 CK 组因为生物量小吸收氮也相对较少,有一大部分氮转化到土壤氮库中;(3)全磷(图 2C):各处理组全磷含量在种植后都有所增加,增幅介于 2.37% ~ 11.60% 间,其中 CK 组和 S0 组的增幅分别为 11.45% 和 8.28%,两者全磷含量种植前后差异显著 ($P < 0.05$). (4)全钾(图 2D):除 CK 组外,其他处理组土壤全钾含量在种植后都有所提高,其中 S0 和 S90 组种植前后差异达到显著水平 ($P < 0.05$);而 CK 组全钾含量种植后显著降低 ($P < 0.05$).

土壤速效养分:(1)碱解氮(图 2E):各处理组碱解氮含量(除 CK 组外)在种植后都得到显著增加 ($P < 0.05$),增加值介于 79.21% ~ 149.06%. (2)速效磷(图 2F):除 CK 组外,各处理组土壤速效磷含量在种植后都有所上升,但只有 S180 处理组种植前后的差

异达到显著水平 ($P < 0.05$),这说明高供磷水平的沼液施用($180\text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)能显著增加种植后土壤中速效磷的含量,这可能会提高磷的流失. (3)土壤速效钾(图 2G):除 CK 组速效钾含量在种植后显著降低 ($P < 0.05$)外,其他处理组(除 S45 组)在种植后都得到了显著增加 ($P < 0.05$),增幅介于 118.61% ~ 222.08%.

土壤重金属铜、锌:(1)所有处理组全铜含量在种植后都有增加,增加值介于 4.82% ~ 103.75%,但种植前后差异都不显著 ($P > 0.05$)(图 2H). (2)与种植前相比,所有处理组锌含量在种植后都有增加,增幅依次为: S180 (75.41%), S135 (51.53%)、CK (43.92%)、S90 (42.85%)、F (39.12%)、S45 (34.98%) 和 S0 (27.24%),但只有 CK、F、S45 和 S180 组种植前后差异显著 ($P < 0.05$)(图 2I).

以上表明,化肥的施用能显著提高种植后土壤碱解氮、速效钾含量,而中高供磷水平(90 、 135 和 $180\text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)沼液的施用则使土壤有机质、碱解氮、速效钾含量都得到了显著的提高,其中供磷水平为 $180\text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 的处理还能显著增加种植后土壤速效磷含量.



图中数据为平均值 ± 标准误,同一指标中柱子上凡具有一个相同小写字母者,表示差异不显著 ($P > 0.05$, Duncan's).

图 2 不同供磷水平沼液种植马铃薯各处理组种植前后土壤化学性质变化

Fig. 2 Chemical properties of soil before and after potato planting

3 讨论与结论

3.1 基于马铃薯需磷量来确定沼液用量的可行性分析

与施用化肥相比,沼液施用没有显著降低马铃薯

的产量,相反,施用中高供磷水平($90 \sim 180\text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)的沼液还能使马铃薯产量增产 10.98% ~ 18.37%,商品薯率提高 3.37% ~ 8.21%,说明基于马铃薯需磷量来确定沼液用量的方式有利于马铃薯产量的提高.

在品质方面,与施用化肥相比,虽然沼液施用显

著地提高了马铃薯还原糖的含量,但都没有超过0.5%(即2.82%干质量)^[11],不会影响马铃薯的食品加工。另外,在马铃薯块茎粗蛋白、可溶性总糖、淀粉含量方面,施用沼液与施用化肥组之间差异不显著。以上说明基于需磷量来施用沼液不会降低马铃薯的品质。

在经济效益方面,沼液的施用在降低马铃薯生产成本的同时,净产值和产投比都有不同程度的提高,能获得更大的经济效益。

在改善土壤肥力方面,中高供磷水平沼液(S90、S135和S180组)的施用除了显著提高种植后土壤碱解氮、速效钾含量外,还明显提高有机质含量;其中中高供磷水平(180 kg·hm⁻²)的沼液施用还能显著增加速效磷的含量,这与张朝春等^[12]报道的磷肥施用能显著提高土壤速效磷含量的结果相似,所以在缺磷的土壤上施用高供磷水平的沼液有利于土壤肥力的提高。在磷当季利用率方面,沼液处理组都比化肥组高,这可能是沼液施入土壤后,一方面,其含有的有机酸能减弱土壤矿物粘粒对磷的固定^[13],另一方面,沼液也能活化土壤本身的磷,从而减少土壤对磷的吸附^[14],所以施用沼液比施用化肥更利于马铃薯对磷的吸收利用,从而提高磷的利用率。以上表明,基于需磷量来施用沼液比施化肥更利于土壤肥力及磷肥利用率的提高。

综上所述,基于需磷量来施用沼液是可行的,这为沼液的农业生产标准化利用提供了一定的理论依据。

3.2 沼液适宜施用量

沼液用量受沼液养分含量、土壤状况及作物养分需求量的影响很大。据报道,沼液的成分及含量受到季节、区域、发酵原料等因素的影响^[2,15-18],而土壤肥力状况及作物的养分需求量随区域的不同而异,这些都为规范沼液的用量带来困难。在本试验中,没有提出沼液适宜用量,而是根据沼液不同供磷水平对马铃薯的产量、品质、土壤肥力改善的影响,并结合所产生的经济效益及环境影响,提出了沼液适宜的供磷水平:在供磷能力低或磷匮乏的土壤上,以180 kg·hm⁻²供磷水平为宜;在高供磷能力的土壤上,以90 kg·hm⁻²供磷水平为好,以免发生磷素的富集。在生产实际过程中,应根据本地区最适宜的施磷水平及沼液实时养分含量状况来设计沼液供磷水平及氮钾肥替代量,并随时关注天气的变化以安排好施用时间,以免沼液施用后受到雨水的冲刷,影响施用效果及周边环境。

综上所述,基于马铃薯需磷量来确定沼液施用量是可行的。在供磷能力低或磷匮乏的土壤上,沼液供磷水平以180 kg·hm⁻²为宜;在高供磷能力的土壤上,以施用中供磷水平(90 kg·hm⁻²)的沼液为宜。

参考文献:

- [1] 孔德杰. 沼肥不同施用方法对小麦光合特性及产量的影响[D]. 西安:西北农林科技大学, 2008.
- [2] 孙广辉. 沼液灌溉对蔬菜产量和品质以及土壤质量影响的研究[M]. 杭州:浙江大学出版社, 2006.
- [3] INTODIA S K, MAHNOT S C, SAHU M P. Effect of organic manures and phosphorus on growth and yield of groundnut (*Arachis hypogaea* L.) [J]. Crop Research (Hisar), 1995, 9(1): 22-26.
- [4] GNANAMANI A, BAI R, KASTURI. Use of biodigested slurry and chemical fertilizers in rice-blackgram-rice rotation[J]. International Journal of Tropical Agriculture, 1994, 12(1/2): 25-32.
- [5] ISLAM M R, RAHMAN S M E, RAHMAN M M. et al. The effects of biogas slurry on the production and quality of maize fodder [J]. Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 2010, 34:91-99.
- [6] 王卫平,朱凤香,陈晓旻,等. 沼液浇灌对土壤质量和萝卜产量品质的影响[J]. 中国农学通报, 2009, 25(24): 484-487.
- [7] 孙国强,陈治中. 地膜玉米施用沼肥增产效果试验[J]. 中国沼气, 2008, 26(1): 44-45.
- [8] 宋玉萍,杨苞梅,李国良,等. 施用鸡粪土壤中磷的径流损失特征研究[J]. 水土保持学报, 2009, 23(6): 33-37.
- [9] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3版. 北京:中国农业出版社, 2000.
- [10] 段玉,妥德宝,赵沛义,等. 马铃薯施肥肥效及养分利用率的研究[J]. 中国马铃薯, 2008, 22(4): 197-200.
- [11] 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.
- [12] 张朝春,江荣风,张福锁,等. 氮磷钾肥对马铃薯营养状况及块茎产量的影响[J]. 中国农学通报, 2005, 21(9): 279-283.
- [13] 秦嘉海,刘金荣,谢晓蓉,等. 有机无机垃圾复混肥对土壤理化性质与小麦产量的影响[J]. 中国生态农业学报, 2006, 14(3): 40-42.
- [14] 赵晓齐,鲁如坤. 有机肥对土壤磷素吸附的影响[J]. 土壤学报, 1991, 28(1): 7-13.
- [15] 张昌爱,王艳芹,袁长波,等. 不同原料沼气池沼渣沼液中养分含量的差异分析[J]. 现代农业科学, 2009, 16(1): 44-46.
- [16] 冯宗强,林长松,袁旭峰,等. 厌氧反应器处理高浓度禽畜粪便过程中沼液成肥规律研究[J]. 湖南农业科学, 2009(11): 145-148.
- [17] 巨鹏. 沼气发酵剩余物对萝卜生长特性、品质及土壤性状的影响[D]. 西安:西北农林科技大学, 2008.
- [18] 张全国,杨群发,李随亮,等. 猪粪沼液中氨态氮含量的影响因素实验研究[J]. 农业工程学报, 2005, 21(6): 114-117.