

DOI: 10.13758/j.cnki.tr.2022.04.003

张辉, 谭诚, 周晓月, 等. 长江中下游甘薯氮磷钾肥施用效果与区域土壤养分丰缺指标研究. 土壤, 2022, 54(4): 676–681.

长江中下游甘薯氮磷钾肥施用效果与区域土壤养分丰缺指标研究^①

张辉^{1,2}, 谭诚^{1,3}, 周晓月^{1,3}, 马洪波^{1,2}, 许仙菊^{1,2}, 汪吉东^{1,2}, 宁运旺^{1*}, 张永春^{2*}

(1 江苏省农业科学院农业资源与环境研究所, 南京 210014; 2 江苏大学环境与安全工程学院, 江苏镇江 212013; 3 海南大学园艺学院, 海口 570228)

摘要: 根据 2009—2014 年在长江中下游薯区实施的 68 个氮、磷、钾肥料用量田间试验结果, 建立了基于养分丰缺指标法——肥料效应函数的甘薯氮、磷、钾施肥指标体系。结果表明: 施用氮肥、磷肥、钾肥均对甘薯具有极显著的增产效果($P < 0.01$); 植薯土壤水解性氮含量的“高”、“低”指标分别为 170 mg/kg 和 100 mg/kg, 有效磷含量的临界指标为 17 mg/kg, 土壤速效钾含量“高”、“低”的指标分别为 110 mg/kg 和 30 mg/kg; 高产田块甘薯的氮、磷、钾肥最佳经济推荐施用量分别为 N 125 kg/hm²、P₂O₅ 160 kg/hm² 和 K₂O 182 kg/hm², 中低产田块的氮、磷、钾肥最佳经济推荐施用量分别为 N 155 kg/hm²、P₂O₅ 120 kg/hm² 和 K₂O 220 kg/hm²。

关键词: 长江中下游; 甘薯; 速效氮、磷、钾; 丰缺指标; 推荐施肥

中图分类号: S531.062 文献标志码: A

Study on Application Effects of N, P and K Fertilizers on Sweet Potato and Abundance-deficiency Indexes of Regional Soil Nutrients in Middle and Lower Reaches of Yangtze River

ZHANG Hui^{1,2}, TAN Cheng^{1,3}, ZHOU Xiaoyue^{1,3}, MA Hongbo^{1,2}, XU Xianju^{1,2}, WANG Jidong^{1,2}, NING Yunwang^{1*}, ZHANG Yongchun^{2*}

(1 Institute of Agricultural Resources and Environmental Sciences, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210014, China; 2 School of Environment & Safety Engineering, Jiangsu University, Zhenjiang, Jiangsu 212013, China; 3 School of Horticulture, Hainan University, Haikou 570228, China)

Abstract: According to the results of 68 field experiments on N, P and K fertilizer application in the middle and lower reaches of Yangtze River from 2009 to 2014, N, P and K fertilizer application index system was established for sweet potato, which was based on nutrient abundance and deficiency index method and fertilizer effect function. The results show that application of N, P and K fertilizers have significant effects on increasing yield of sweet potato ($P < 0.01$). For potato-growing soil, the “High” and “Low” indexes are 170 mg/kg and 100 mg/kg for available (hydrolytic) nitrogen, 110 mg/kg and 30 mg/kg for available potassium, respectively, while the critical index is 17 mg/kg for available phosphorus. The optimal economic recommended rates of nitrogen, phosphorus and potassium are N 125 kg/hm², P₂O₅ 160 kg/hm² and K₂O 182 kg/hm², respectively, the optimal economic recommended application rates of N, P and K for medium and low yield fields are N 155 kg/hm², P₂O₅ 120 kg/hm² and K₂O 220 kg/hm², respectively.

Key words: Middle and lower reaches of Yangtze River; Sweet potato; Available N, P and K; Abundance-deficiency index; Recommended fertilization

甘薯是世界上重要的粮食作物、饲料作物和工业原料作物^[1]。中国是世界上最大的甘薯生产国家, 根据联合国粮食及农业组织(FAO)的统计结果, 2019 年

中国甘薯种植面积和产量分别为 2.36×10^6 hm²、 5.19×10^7 t, 分别占世界总量的 30.55% 和 56.62%。甘薯根系具有分布广、数量多的特点, 有较强的养分吸收

①基金项目: 国家甘薯产业技术体系项目(CARS-10)、江苏省自然科学基金项目(BK20190259)和江苏省农业科技自主创新资金项目(CX(21)3002)资助。

* 通讯作者(ningyunwang@sina.com; yczhang66@sina.com)

作者简介: 张辉(1983—), 女, 江苏淮阴人, 博士, 副研究员, 主要研究方向为甘薯养分管理。E-mail: 9833672@qq.com

能力。生产中由于甘薯常表现较强的耐瘠薄特性,因此,甘薯种植过程施肥问题没有得到足够重视^[2-3]。一方面,种植户认为甘薯可以忽略肥料的施用而导致施肥量太少;另一方面,为了获得高产,种植户过高依赖化肥而导致施肥量过多的现象也普遍存在^[4]。施肥是保障作物生长的基本措施之一,因此,施肥管理落后已经是制约甘薯生产水平进一步提高的重要限制因素之一,过低的养分投入直接限制了甘薯的生长和发育,也不能满足人们对甘薯日益增长的需求;而过高的养分投入则不仅造成肥料利用效率低,同时养分流失也对环境造成污染。

建立和完善氮、磷、钾施肥指标体系是作物高效施肥的关键^[5-7]。我国在各地相继建立了水稻、玉米、小麦等大宗作物的施肥指标体系,但对甘薯,目前只有福建开展了比较系统的研究,建立了氮磷钾施肥指标体系^[6,8]。如章明清等^[6]根据2009年之前在福建省进行的118个“3414”试验结果,认为氮磷钾对甘薯均有显著增产效果,土壤水解性氮、有效磷和速效钾含量的高产临界指标分别为176、17和106 mg/kg;郑荔敏等^[8]的结果表明,福建莆田植薯土壤碱解氮、有效磷和速效钾含量的丰缺指标临界值分别为85~128、10~24和42~115 mg/kg。

甘薯在我国分布非常广泛,南北种植区跨度从18°~48°N,海拔跨度从沿海平原到海拔近2000m的云贵高原^[9]。为在更大范围内建立甘薯的氮、磷、钾施肥指标体系,本文根据2009—2014年在长江中下游薯区实施的68个氮、磷、钾肥料用量试验结果,建立基于养分丰缺指标法——肥料效应函数^[10]的甘薯的氮、磷、钾施肥指标体系,以期甘薯高效施肥提供科学依据。

1 材料与方 法

1.1 试验设计

2009—2014年在长江中下游薯区的江苏、安徽、湖北、湖南、四川等地实施了22个氮肥用量试验、22个磷肥用量试验和24个钾肥用量试验。氮、磷、钾肥料用量均设6个水平,3次重复,其中氮肥用量分别为N 0、60、120、180、240和300 kg/hm²,磷肥用量分别为P₂O₅ 0、45、90、135、180和225 kg/hm²,钾肥用量分别为K₂O 0、60、120、180、240和300 kg/hm²,个别区域钾肥试验钾肥用量为K₂O 0、75、150、225、300和375 kg/hm²,所有处理3~4次重复。氮肥用量试验中,磷肥和钾肥用量固定,分别为P₂O₅ 45~90 kg/hm²和K₂O 150~225 kg/hm²;磷

肥用量试验中,氮肥和钾肥的用量固定,分别为N 120~180 kg/hm²和K₂O 150~225 kg/hm²;钾肥用量试验中,氮肥和磷肥的用量固定,分别为N 120~180 kg/hm²和P₂O₅ 45~90 kg/hm²。供试肥料品种分别为尿素(含N 460 g/kg)、过磷酸钙(含P₂O₅ 120 g/kg)和硫酸钾(含K₂O 500 g/kg)。所有小区面积20 m²以上,试验田块四周设1垄以上保护行。甘薯品种每个试验点一致,薯苗扦插要求长度及入土节数一致。每个试验点的水分管理、除草、病虫害防治等措施均保持一致。收获时各小区单独计产,记录鲜重产量。

1.2 土样采集与测定

田间试验实施前,每个试验田块按规范取0~20 cm土壤样品10~15个,混合均匀后四分法保留样品1个500~1000 g的样品。采用常规方法测定土壤主要理化性状^[11]。其中,pH为电位法,有机质为重铬酸钾容量法,水解性氮为碱解扩散法,有效磷为0.5 mol/L碳酸氢钠提取-钼锑抗比色法,速效钾为乙酸铵提取-火焰光度计测定。测定获得供试土壤的基本理化性状为:pH 5.95(±0.72),有机质16.5(±6.9) g/kg,水解性氮117.8(±41.4) mg/kg,有效磷16.5(±12.9) mg/kg,速效钾100.1(±58.2) mg/kg。

1.3 数据整理与计算

1.3.1 土壤养分丰缺指标的确定 单个肥料用量试验中,以产量最高的单质肥料用量处理作为该试验的最佳处理,即优化处理,以氮肥、磷肥或者钾肥用量为0的处理作为缺素处理,计算缺素处理的鲜薯产量与优化处理鲜薯产量比值的百分数,即为相对产量。根据相对产量与土壤有效养分(水解性氮、有效磷和速效钾)测定值的关系做散点图,根据显著性检验结果选择合适的回归曲线模型拟合鲜薯相对产量与土壤水解性氮、有效磷和速效钾含量之间的关系,以确定土壤氮磷钾丰缺指标。根据我国农业部颁发的《测土配方施肥技术规范》^[12]中的规定,土壤养分丰缺指标可分为5个级别:极高、高、中、较低、低,而大部分研究者认为,划分3个或4个级别就已足够^[5,6,13]。本文参照全国“土壤养分丰缺指标”协作组制定的我国农田土壤通用划分级别,将土壤养分分为“低”、“中等”、“高”和“极高”4个级别,其中,相对产量在75%以下时对应的土壤养分含量为“低”,相对产量在75%~90%的为“中等”,90%~95%的为“高”,大于95%的为“极高”^[10]。

1.3.2 氮磷钾最佳施肥量的确定 由于试验区域范围较广,品种、栽培方式、土壤、气候等使得各试验鲜薯产量差异较大,为消除试验条件带来的误差,

按产量水平将甘薯种植土壤分为中低产田和高产田,即计算氮肥、磷肥或者钾肥用量为 0 的处理的鲜薯产量平均值,低于该平均产量的试验田块为中低产田,高于平均产量的试验田块为高产田。根据测土配方施肥规范中的方法,建立氮、磷、钾肥施用量与鲜薯产量的一元二次方程,根据边际产量和边际效益分别求得最高产量施肥量和最佳经济效益施肥量。

1.3.3 数据分析 用 SPSS18.0 进行数据统计分析。

2 结果与分析

2.1 氮、磷、钾肥的增产效应

22 个氮肥试验、22 个磷肥试验和 24 个钾肥试验的优化处理和缺素处理的产量结果如表 1 所示。由表 1 可知,施用氮、磷、钾肥每公顷平均增产分别为 3 876、3 919 和 4 771 kg,增产率分别为 14.3%、11.5% 和 9.4%,每施用 1 kg 氮(N)、磷(P₂O₅)和钾(K₂O)可分别增产鲜薯 31.7、60.6 和 21.7 kg。与缺素处理相比,其中以施钾的优化处理增产最大,施氮的优化处理增产率最高。采用配对法 *T* 检验对优化处理和缺素处理的试验结果进行分析,结果表明,施用氮肥($T=2.870$, $P<0.01$)、磷肥($T=5.036$, $P<0.01$)和钾肥($T=4.528$, $P<0.01$)均对甘薯有极显著的增产效果。

2.2 土壤养分丰缺指标

按照 1.3 中的方法,根据氮、磷、钾缺素处理的相对产量,与对应的水解性氮、有效磷和速效钾含量测定值,在坐标图上绘制散点图,结果如图 1

所示,可见,甘薯相对产量与水解性氮和速效钾含量呈正比关系,而随着有效磷含量的增加,甘薯相对产量先上升后降低。根据各点分布的整体趋势建立数学模型,结果表明,土壤水解性氮含量与鲜薯相对产量呈幂函数相关($F=7.493$, $P<0.05$),土壤有效磷含量与鲜薯相对产量呈二次项相关($F=15.440$, $P<0.01$),土壤速效钾含量与鲜薯相对产量呈复合模型相关($F=5.434$, $P<0.05$)。根据得到的土壤速效氮、磷、钾含量与鲜薯相对产量之间的校验曲线模型,按照 1.3 中的方法进行土壤速效养分丰缺指标的计算,结果表明,土壤水解性氮含量“高”、“低”的指标分别为 168 mg/kg 和 98 mg/kg,土壤速效钾含量“高”、“低”的指标分别为 112 mg/kg 和 28 mg/kg(表 2)。一般方程拟合过程中,增加或减少样本数量拟合结果会发生变化,因此,可将计算结果进行取整来消除拟合结果的波动,同时,也为了养分丰缺指标在甘薯生产中的推广和应用,建议土壤水解性氮含量“高”、“低”的指标分别为 170 mg/kg 和 100 mg/kg,土壤速效钾含量“高”、“低”的指标分别为 110 mg/kg 和 30 mg/kg。

3 讨论

3.1 土壤养分增产效益及丰缺指标

本研究中,土壤水解性氮含量与鲜薯相对产量之间的散点图是从 22 个氮肥用量试验中先剔除了由于试验误差造成优化处理减产的 4 个试验点,再在 18

表 1 甘薯施用氮、磷、钾肥的增产效果

Table 1 Effects of N, P and K fertilizers on sweet potato yield

试验	样本数	优化处理产量 (kg/hm ²)	缺素处理产量 (kg/hm ²)	增产量 (kg/hm ²)	平均增产率 (%)
氮肥试验	22	25 789 ± 16 520	21 913 ± 15 069	3 876 ± 6 334	14.3 ± 19.3
磷肥试验	22	31 607 ± 14 317	27 689 ± 12 969	3 919 ± 3 650	11.5 ± 10.5
钾肥试验	24	34 242 ± 13 340	29 472 ± 10 107	4 771 ± 5 274	9.4 ± 18.5

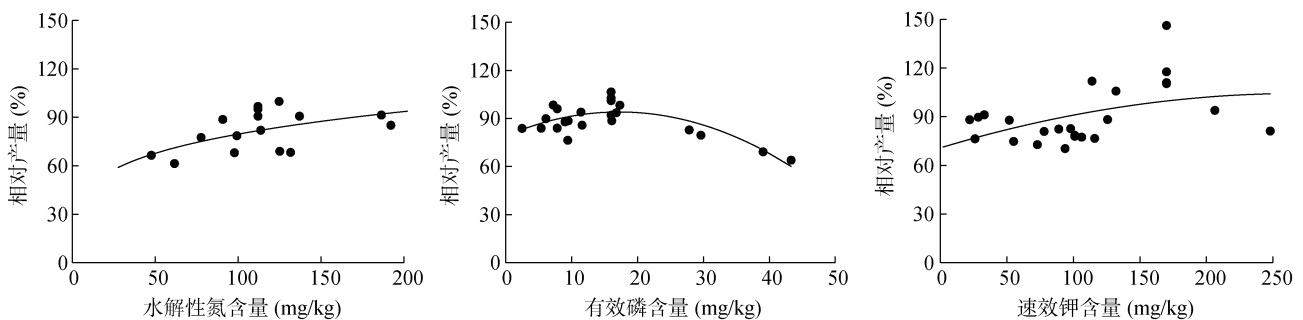


图 1 土壤速效氮、磷、钾含量与甘薯相对产量的校验曲线

Fig. 1 Calibration curves between soil available N, P and K contents with relative yield of sweet potato

表2 土壤水解性氮、有效磷和速效钾丰缺指标
Table 2 Abundance-deficiency indices of soil available N, P and K

养分	校验曲线回归模型	土壤养分指标(mg/kg)			
		极高	高	中	低
水解性氮	$y=29.607x^{0.217}(n=16, r=0.542^*)$	>216	216 ~ 168	168 ~ 98	<98
有效磷	$y=-0.0498x^2+1.7146x+79.297(n=22, r=0.787^{**})$			17.2	
速效钾	$\ln y=4.343+0.0014x(n=24, r=0.445^*)$	>151	151 ~ 112	112 ~ 28	<28

个试验点中剔除了与整体分布有明显偏离的2个试验点(占11.1%)后得到的,而土壤有效磷、速效钾含量与相对产量之间的散点图则包括所有试验点数据,这在章明清等^[6]的研究中也有类似报道。其中土壤水解性氮含量指标与章明清等^[6]所得到的福建省指标比较接近,而土壤速效钾含量“低”的指标比福建省指标下降了1/3,表明甘薯虽为喜钾作物,但对低钾土壤有较强的忍耐能力。

值得注意的是,依据土壤有效磷含量与鲜薯相对产量之间的二次回归方程无法进行土壤有效磷分级,但可依据边际相对产量求出获得最高相对产量时的土壤有效磷含量为17.2 mg/kg,与福建省甘薯种植土壤有效磷含量“高”的指标17.0 mg/kg极为接近,虽然由于校验曲线回归模型的差异,对两者的解读有所不同,但其本质含义却基本一致。应用指数模型得到的福建省甘薯种植土壤有效磷含量“高”、“低”的指标分别为17.0 mg/kg和10 mg/kg^[6],表明当土壤有效磷含量高于17 mg/kg时,不施磷对照的相对产量即能超过90%,施磷的效果不明显;当土壤有效磷含量低于10 mg/kg时,不施磷对照的相对产量低于80%,施磷有较好的增产效果。本研究中应用二次函数模型得到的甘薯种植土壤最佳有效磷含量为17.2 mg/kg,表明当土壤有效磷低于17.2 mg/kg时,甘薯施磷有较好的增产效果,当土壤有效磷高于17.2 mg/kg时,甘薯施磷的效果不明显。因此,可把17 mg/kg视为土壤有效磷的临界指标。

3.2 基于肥料效应方程的氮磷钾肥推荐施用量

在建立肥料效应函数方程之前对68个试验分别进行独立回归分析,从22个氮肥试验中剔除6个统计不显著的试验点,22个磷肥试验中剔除7个统计不显著的试验点,24个钾肥试验中剔除7个统计不显著的试验点。对统计回归分析结果显著的试验点按照1.3.2中的方法进行产量水平分类,根据《测土配方施肥技术规程》^[2]中的方法建立施肥量与鲜薯产量之间的一元二次方程,以边际产量和边际效应分别计算不同产量水平田块种植甘薯的氮、磷、钾肥最高产量施肥量和最佳经济效益施肥量(表3)。其中肥料和鲜薯价格按照2010—2015年的价格估算,分别为尿素价格N 5.0元/kg,普钙价格P₂O₅ 5.2元/kg,钾肥价格K₂O 5.8元/kg,鲜薯价格1.0元/kg。分析结果表明,对于产量水平中等偏低的试验田块,甘薯的N、P₂O₅、K₂O最高施用量分别为164.0、124.0和246.7 kg/hm²,最佳经济施用量分别为155.0、118.1和219.9 kg/hm²。产量水平较高的试验田块其N、P₂O₅、K₂O最高施用量分别为132.2、163.6和202.2 kg/hm²,最佳经济施用量分别为126.9、157.9和182.0 kg/hm²。甘薯的平均N、P₂O₅、K₂O最高施用量为148.1、143.8和225.0 kg/hm²,平均N、P₂O₅、K₂O最佳经济施用量分别为141.0、139.0和201.0 kg/hm²(表3)。为了推荐施肥量在甘薯生产中的推广和应用,对该计算结果进行了取整处理,建议高产田甘薯的N、P₂O₅、K₂O最佳经济推荐施用量分别为125、160和180 kg/hm²,中低产田块的N、P₂O₅、

表3 不同产量水平的甘薯推荐施肥量
Table 3 Fertilization recommendations for sweet potato with different yield levels

产量水平	肥料	样本数	肥料效应方程	回归系数 <i>r</i>	最高产量施肥量 (kg/hm ²)	最佳经济施肥量 (kg/hm ²)
中低产	N	9	$y=-0.2766x^2+90.741x+18101$	0.375 2*	164.0	155.0
	P ₂ O ₅	10	$y=-0.441x^2+109.4x+20626$	0.460 9**	124.0	118.1
	K ₂ O	8	$y=-0.1083x^2+53.427x+23209$	0.448 6*	246.7	219.9
高产	N	6	$y=-0.4707x^2+124.45x+36656$	0.428 4*	132.2	126.9
	P ₂ O ₅	5	$y=-0.4584x^2+149.88x+38058$	0.491 1*	163.6	157.9
	K ₂ O	9	$y=-0.1462x^2+59.023x+35974$	0.380 0*	202.2	182.0

K₂O 最佳经济推荐施用量分别为 155、120 和 220 kg/hm²。

3.3 基于土壤养分测定值的氮磷钾肥推荐施用量

应用土壤养分丰缺指标, 结合土壤速效养分测定值, 能够定性指导肥料施用量, 但并不能定量地确定施肥量的多少。为此, 不少研究者依据大量田间研究结果试图建立土壤速效养分测定值与推荐施肥量之间的函数模型, 以定量地根据土壤养分测定值计算具体田块的推荐施肥量。如李文彪等^[5]依据 234 个“3414”试验结果分别建立了内蒙古河套地区的春玉米种植土壤氮磷钾测定值与推荐施肥量之间的指数模型, 章明清等^[6]依据 118 个氮磷钾肥效试验建立了福建省甘薯种植土壤测定值与推荐施肥量之间的指数模型。本文依据前述 15 个氮肥试验、15 个磷肥试验和 17 个钾肥试验结果, 试图建立土壤水解性氮、有效磷和速效钾含量与最佳经济施肥量之间的回归模型, 结果表明, 土壤水解性氮

含量与推荐施氮量之间的指数回归模型达到了显著水平($F=4.861$, $P<0.05$), 而土壤有效磷含量与推荐施磷量、土壤速效钾含量与推荐施钾量之间均未达到显著相关水平(图 2)。章明清等^[6]研究结果中典型肥效模型推荐施肥量和相应的试验点的土壤水解性氮、有效磷和速效钾含量分别满足指数模型, 而本研究中仅有土壤水解性氮含量与推荐施氮量之间的回归方程达到显著水平, 分析其原因, 本研究与之相比, 试验区域较大, 各试验点的水分条件、土壤质地等因素均可能对试验结果产生较大的影响, 而章明清等^[6]的研究结果则集中在福建地区, 除了试验变量之外的环境因素较为统一, 因此, 更容易获得较好的拟合结果。同时, 本研究结果也表明, 氮肥施用对甘薯产量的影响受其他因素的影响较小, 而磷肥和钾肥的施用对产量的影响与氮肥相比, 敏感性降低, 这与前文提到的与缺素处理相比, 施氮的优化处理增产率最高这个结果保持一致。

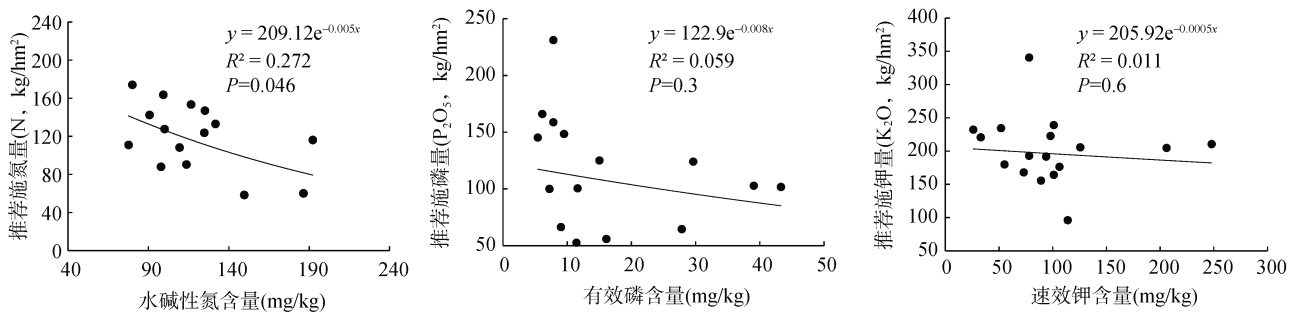


图 2 土壤水解性氮、有效磷和速效钾含量测定值与推荐施肥量的关系

Fig. 2 Relationship between measured soil available N, P and K contents with recommended rates of fertilizers on sweet potato

3.4 甘薯氮磷钾肥推荐施用量的评价

一般而言, 高产田块具有较高的土壤肥力水平, 且表现出较高的产量水平和较低的推荐施肥量, 但在本研究中却得到与此相反的试验结果。本研究涉及的试验田块, 中低产田块大多位于平原地带, 土壤肥力较高, 土壤的水解性氮、有效磷和速效钾含量平均值分别为 120、21、116 mg/kg; 高产田块大多处于丘陵地带, 土壤肥力较低, 土壤的水解性氮、有效磷和速效钾含量平均值分别为 116、12、85 mg/kg。此外, 高产田块的氮肥和钾肥推荐用量分别比中低产田块低 N 30 kg/hm² 和 K₂O 40 kg/hm² 左右, 磷肥的推荐用量反而比中低产田块高 P₂O₅ 40 kg/hm² 左右。这一现象与其他大田作物在不同土壤肥力水平的肥料推荐用量表现出明显不同^[14-15]。分析其原因, 首先, 可能与土壤水分条件有关, 本研究涉及的试验田块, 中低产田块大多地势平坦, 土壤水分充足, 而高产田块

大多处于岗坡地, 中低产田的甘薯根系分布可能更广, 对土壤中移动性较差的磷的吸收能力更强, 因此, 导致中低产田块上磷的推荐施用量低于高产田块。再者, 生长在中低产田块上的甘薯由于根系数量多、分布广, 极易造成地上部分“源”生长过旺, 同时对氮的需求增加, 库源关系失衡。而甘薯具有典型的库源关系, 块根(库)膨大与地上部分叶片(源)光合作用和光合产物的分配(流)密切相关^[16], 而氮钾的协同对调节甘薯库源关系有非常重要的作用^[17-18], 氮钾配施对甘薯产量的增加呈显著的正交互效应^[18]。这也可能是上述高产田块土壤的速效氮、钾养分含量低于中低产田块, 但高产田块的氮、钾推荐施用量却低于中低产田块的原因。

包启平等^[19]对东北春玉米的氮肥推荐模型的研究结果表明, 同一土壤类型上, 由于土壤肥力水平的不同, 导致肥料效应函数拟合差异很大, 而即使在同

一肥力水平的土壤上,由于土壤类型的不同,肥料效应函数差异也很大,因此,在今后的研究中,对甘薯推荐施肥模型的建立时,应借鉴此方法,以进一步探讨更为准确的拟合结果。

4 结论

1) 研究区施用氮、磷、钾肥料均对甘薯具有极显著的增产效果($P < 0.01$)。

2) 以缺素区鲜薯产量分别占优化处理区鲜薯产量 90% 以上和 75% 以下为土壤速效养分“高”和“低”的指标,植薯土壤水解性氮含量的“高”、“低”指标分别为 170 mg/kg 和 100 mg/kg,有效磷含量的临界指标为 17 mg/kg,速效钾含量“高”、“低”的指标分别为 110 mg/kg 和 30 mg/kg。

3) 以缺素处理平均产量作为划分高产田和中低产田的标准,高产田甘薯的氮磷钾肥最佳经济推荐施用量分别为 N 125 kg/hm²、P₂O₅ 160 kg/hm² 和 K₂O 180 kg/hm²,中低产田块的氮磷钾肥最佳经济推荐施用量分别为 N 155 kg/hm²、P₂O₅ 120 kg/hm² 和 K₂O 220 kg/hm²。

致谢: 感谢国家甘薯产业技术体系研发中心、武汉试验站、杭州试验站、南京试验站、合肥试验站、长沙试验站和南充试验站给予本工作的大力支持和帮助!

参考文献:

[1] 王欣,李强,曹清河,等. 中国甘薯产业和种业发展现状与未来展望[J]. 中国农业科学, 2021, 54(3): 483-492.
 [2] 宁运旺,张永春,朱绿丹,等. 甘薯的氮磷钾养分吸收及分配特性[J]. 江苏农业学报, 2011, 27(1): 71-74.
 [3] 张爱君,李洪民,唐忠厚,等. 长期不施钾肥对甘薯产量的影响[J]. 安徽农业大学学报, 2010, 37(1): 22-25.
 [4] 赵鹏,刘明,靳容,等. 长期施用有机肥对潮土区甘薯

碳氮积累与分配的影响[J]. 中国农业科学, 2021, 54(10): 2142-2153.
 [5] 李文彪,刘荣乐,郑海春,等. 内蒙古河套灌区春玉米推荐施肥指标体系研究[J]. 中国农业科学, 2012, 45(1): 93-101.
 [6] 章明清,李娟,孔庆波,等. 福建甘薯氮磷钾施肥指标研究[J]. 土壤通报, 2012, 43(4): 861-866.
 [7] 邹娟,鲁剑巍,陈防,等. 基于 ASI 法的长江流域冬油菜区土壤有效磷、钾、硼丰缺指标研究[J]. 中国农业科学, 2009, 42(6): 2028-2033.
 [8] 郑荔敏,黄珍发,潘春扬. 甘薯测土配方施肥指标体系研究[J]. 农学学报, 2015, 5(5): 19-24.
 [9] 马代夫,刘庆昌,张立明,等. 中国甘薯[M]. 南京: 江苏凤凰科学技术出版社, 2021.
 [10] 张福锁. 测土配方施肥技术[M]. 北京: 中国农业出版社, 2011.
 [11] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3 版. 北京: 中国农业出版社, 2000.
 [12] 中华人民共和国农业部. 测土配方施肥技术规程: NY/T 2911—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
 [13] 金耀青,张中原. 配方施肥方法及其应用[M]. 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 1993.
 [14] 孙义祥,郭跃升,于舜章,等. 应用“3414”试验建立冬小麦测土配方施肥指标体系[J]. 植物营养与肥料学报, 2009, 15(1): 197-203.
 [15] 闫翠萍,杨萍果,孙树荣. 三种肥力水平土壤施肥对玉米产量及经济效益的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2017(5): 56-60.
 [16] Haimeirong H, Kubota F. The effects of drought stress and leaf ageing on leaf photosynthesis and electron transport in photosystem 2 in sweet potato (*Ipomoea batatas* lam.) cultivars[J]. Photosynthetica, 2003, 41(2): 253-258.
 [17] 汪顺义,刘庆,史衍玺,等. 氮钾配施对甘薯光合产物积累及分配的影响[J]. 中国农业科学, 2017, 50(14): 2706-2716.
 [18] 孙哲,田昌庚,陈路路,等. 氮钾配施对甘薯茎叶生长、产量形成及干物质分配的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2021(4): 186-191.
 [19] 包启平,韩晓日,崔志刚,等. 东北春玉米氮肥推荐施肥模型研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2020, 26(4): 705-716.