

云南省马铃薯施肥量与化肥偏生产力的关系研究*

刘润梅^{1,3} 范茂攀¹ 付云章³ 周军³ 郑毅^{1,2†} 汤利^{1†}

(1 云南农业大学资源与环境学院, 昆明 650201)

(2 西南林业大学国家高原湿地中心, 昆明 650224)

(3 云南省文山州土壤肥料工作站, 云南文山 663000)

摘要 化肥偏生产力(Partial factor productivity, PFP)是反映当地土壤基础养分水平和化肥施用量综合效应的重要指标,肥料施用量对化肥偏生产力会产生影响。本文在对云南省 11 个州/市 13 个县/市共 212 个马铃薯种植农户进行的问卷调查基础上,探讨了马铃薯的化肥施用量与化肥偏生产力的关系,并对农户施肥合理性进行了评价。结果表明,云南省马铃薯施氮量为 $N\ 30 \sim 1\ 005\ \text{kg}\ \text{hm}^{-2}$, 平均 $285\ \text{kg}\ \text{hm}^{-2}$; 施磷量为 $P_2O_5\ 10.5 \sim 735.0\ \text{kg}\ \text{hm}^{-2}$, 平均 $149.1\ \text{kg}\ \text{hm}^{-2}$; 施钾量为 $K_2O\ 7.5 \sim 466.5\ \text{kg}\ \text{hm}^{-2}$, 平均 $111.9\ \text{kg}\ \text{hm}^{-2}$ 。马铃薯化肥偏生产力为 $82.3\ \text{kg}\ \text{kg}^{-1}$, 其中氮(N)、磷(P_2O_5)和钾肥(K_2O)的偏生产力分别为 158.7、278.0 和 $416.3\ \text{kg}\ \text{kg}^{-1}$ 。施氮、磷、钾量与氮、磷、钾肥 PFP 之间、化肥总量与总化肥偏生产力之间均呈负相关, 相关系数分别为 0.873**、0.872**、0.801** 和 0.805**。分别以 N、 P_2O_5 、 K_2O 投入量 $150 \sim 250\ \text{kg}\ \text{hm}^{-2}$ 、 $45 \sim 90\ \text{kg}\ \text{hm}^{-2}$ 和 $90 \sim 120\ \text{kg}\ \text{hm}^{-2}$ 作为合理施肥范围, 马铃薯合理施氮、磷、钾的农户分别占总调查农户的 21.6%、30.7% 和 10.8%。

关键词 马铃薯; 施肥量; 化肥偏生产力

中图分类号 Q143; S154.36 **文献标识码** A

马铃薯在 16 世纪中期引进中国, 主要种植在东北、华北、西北和西南冷凉地区, 随着科学技术的发展, 现今已发展成为我国重要的粮食、经济和饲料兼用作物。其生育期短、产量高、用途广、栽培技术简单, 因此发展很快遍及全国。尤其在我国西南山区、东北北部和黄土高原省份, 马铃薯是当地的主要粮食和蔬菜作物, 播种面积占全国的 85% 以上。云南省属于高原山区省份, 地形波状起伏, 平均海拔 $2\ 000\ \text{m}$ ^[1], 是典型的喀斯特高原区, 地表缺水、农业灌溉条件差、山地多平地少、自然资源组合状况较差、生态环境脆弱, 各地土壤肥力、气候状况、地理条件、地形地貌、作物种类等条件相差很大, 云南省薯类生产比较优势的地区为昭通、曲靖和昆明^[2]。根据 2011 年《云南统计年鉴》^[3], 2010 年云南省粮食作物总播种面积为 $4.27 \times 10^6\ \text{hm}^2$, 其中薯类的播种面积为 $6.32 \times 10^5\ \text{hm}^2$, 所占比例为 14.8%;

全省粮食总产量为 $1.53 \times 10^7\ \text{t}$, 其中薯类的产量为 $1.74 \times 10^6\ \text{t}$, 所占比例为 11.3%。可见, 薯类作物在云南省粮食生产中起重要作用。另外, 适量的化肥施用量是促进粮食增产和肥料增效的有效途径之一。张卫锋等^[4]通过中国作物体系—专家模型(CEBM)综合测算发现, 2010 年我国农田化肥需求总量将达到 $4.9 \times 10^7\ \text{t}$ 至 $5.36 \times 10^7\ \text{t}$, 与 2005 年相比, 氮磷钾化肥需求将分别增长 3.6%~7.5%、2.4%~14.1%、6.5%~38.7%, 5 年共增长 $1.78 \times 10^6\ \text{t}$ 至 $6.38 \times 10^6\ \text{t}$ 。近十年来, 云南省化肥施用量均不断增加, 2010 年云南省化肥施用量为 $1.85 \times 10^6\ \text{t}$, 其中氮、磷、钾肥和复合肥施用量分别为 $9.75 \times 10^5\ \text{t}$ 、 $2.72 \times 10^5\ \text{t}$ 、 $1.8 \times 10^5\ \text{t}$ 和 $4.2 \times 10^5\ \text{t}$ ^[3], 是 2004 年化肥施用量($1.37 \times 10^6\ \text{t}$)^[5]的 1.35 倍。根据联合国粮农组织(FAO)的估计, 化肥对农作物增产的贡献率为 40%~60%^[6]。1978—2006 年间我国化肥投入对粮食产量增长的弹性值为 0.20, 贡献率达 56.81%, 是所有投入

* 国家自然科学基金项目(31260504, 41361065)和农业部公益性行业科研专项(201103003)共同资助

† 通讯作者

作者简介: 刘润梅(1985—), 女, 云南大理人, 硕士研究生, 主要从事养分资源综合管理研究。Tel: 0876-2124161, E-mail: liurunmei088@163.com

收稿日期: 2013-10-25; 收到修改稿日期: 2014-02-17

要素中贡献最大的一项^[7]。张福锁等^[8]总结了近年来在全国粮食主产区进行的 1 333 个田间试验结果,发现水稻、小麦和玉米的氮肥利用率分别为 28.3%、28.2% 和 26.1%,远低于国际水平,与 20 世纪 80 年代相比呈下降趋势。曾有研究表明,云南省氮肥利用率平均为 35%,主要粮食作物的氮肥利用率仅为 28%~41%^[9]。然而近年来,随着粮食安全和环境保护重要性的进一步提高,人们对化学肥料的施用效率日益关注,尤其是基于农户生产中肥料养分的利用效率研究日益得到关注。本研究在行业计划背景下,通过调研收集第一手资料,了解农户生产过程的主要行为,对云南省马铃薯生产中的化肥偏生产力(Partial factor productivity, PFP)、马铃薯施肥现状进行分析和探讨,以期为建立马铃薯高产、养分资源高效和环境友好的最佳养分管理技术提供科学依据,对实现云南农业可持续发展、保障粮食安全和环境友好有着重要意义。

1 材料与方法

1.1 调查方法

按照项目在全国实行的统一调研方案,采用农户抽样调查的方法进行现状调查^[10]。调查样点根据马铃薯种植面积、经济收入等,通过等距离抽样和随机选取确定。具体根据云南统计年鉴和相关

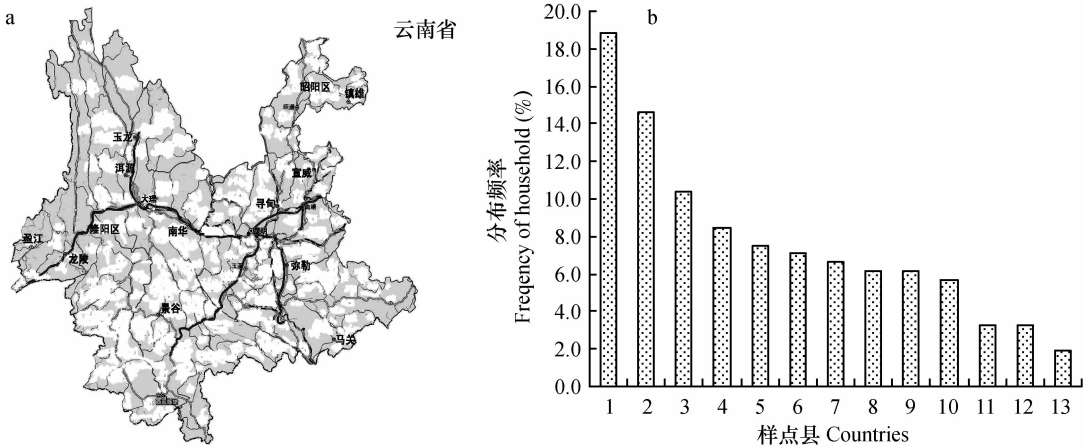
资料按照播种面积从大到小排列,选取播种面积较大的州/市,再将隶属于这些州/市的县/市按照人均纯收入从大到小排列,再按等距离抽样的方式对每个州/市选取一个县,作为调查样点县,再根据当地种植情况在县内选取种植面积较大的两个乡镇,最后每个乡镇随机选取 5~10 个有代表性的马铃薯种植农户进行实地入户走访调查。

1.2 调查地点及样本分布

调查地点涵盖云南省昭通昭阳区和镇雄县、昆明寻甸县、曲靖宣威市、楚雄南华县、文山马关县、丽江玉龙县、德宏盈江县、普洱景谷县、保山龙陵县和隆阳区、红河弥勒县和大理洱源县等 11 个州/市 13 个县/市,共 212 个马铃薯种植农户。马铃薯调查代表面积占云南省薯类种植面积的 81.9%。212 个农户的马铃薯氮肥平均施用量为 285 kg hm⁻²,最小值是 30 kg hm⁻²,最大值是 1 005 kg hm⁻²;平均施磷(P₂O₅)量为 149 kg hm⁻²,最小值是 10 kg hm⁻²,最大值是 735 kg hm⁻²;平均施钾(K₂O)量为 112 kg hm⁻²,最小值是 8 kg hm⁻²,最大值是 466 kg hm⁻²,调查农户马铃薯平均产量为 19 862 kg hm⁻²,最小值为 4 500 kg hm⁻²,最大值为 52 500 kg hm⁻²。调查样点县分布及其频率见图 1 所示。

1.3 调查内容

农户生产状况调查:农户家庭基本情况、承包土地数量、水旱土地面积等。



注:图 1b 中代号 1-13 分别为寻甸、玉龙、宣威、洱源、景谷、昭阳区、弥勒、南华、镇雄、隆阳区、龙陵、盈江和马关
 Note: The code from 1 to 13 denotes Xundian, Yulong, Xuanwei, Eryuan, Jinggu, Zhaoyangqu, Mile, Nanhua, Zhenxiong, Longyangqu, Longling, Yingjiang and Maguan, respectively in Fig. 1b

图 1 调查农户样本县及样本分布频率

Fig. 1 Counties (a) where farmer households were surveyed and their distribution frequencies (b) in Yunnan Province

主要作物施肥情况:农户马铃薯种植面积、产量、施肥品种、施肥量、施肥时间、施肥方法、施肥技术、其他养分管理技术现状等。

1.4 数据计算

本文中的施肥量是指纯养分量。施肥量的计算:单质氮磷钾化肥施用量 = 施肥量 × 该种化肥中的养分含量;复合肥或专用肥的施肥量 = 该种复合肥或专用肥的施用量 × 养分含量,比如三元复合肥的施肥量 = 复合肥的施用量 × 复合肥中氮磷钾的养分含量;有机肥的施肥量 = 不同有机肥种类中氮磷钾养分含量 × 有机肥用量。

化肥偏生产力 = 施肥后所获得的作物产量/化肥的投入量 (kg kg^{-1})。其中作物产量是以单位面积的作物产量(鲜重)计算,化肥投入量以纯养分量计算。

2 结果

2.1 马铃薯生产中化肥、有机肥和总养分的投入

表 1 是云南省马铃薯生产中的肥料施用量。肥料施用比例为 $\text{N}:\text{P}_2\text{O}_5:\text{K}_2\text{O} = 1:0.52:0.39$,氮肥、磷肥和总养分主要以化肥的形式施用,而钾肥主要靠有机肥的形式施入,这可能因为化学钾肥价格偏高,农户不愿意在粮食作物上普遍施用;农户间施肥差异很大,变异系数均在 60% 以上,由于存在地区、经济水平、传统习惯等差异,形成了不同地区不同农户不同的管理和施肥方式。进一步对各调查样点县进行统计,总肥料施用量 ($\text{N} + \text{P}_2\text{O}_5 + \text{K}_2\text{O}$) 从高到低依次为镇雄、南华、玉龙、龙陵、马关、寻甸、盈江、弥勒、隆阳区、昭阳区、宣威、洱源、景谷。

表 1 马铃薯化肥、有机肥与总养分投入水平和比例

Table 1 Amounts and proportions of chemical fertilizer, organic manure and total nutrient applied in potato production

肥料 Fertilizer	N		P_2O_5		K_2O		$\text{N} + \text{P}_2\text{O}_5 + \text{K}_2\text{O}$	
	平均 Mean (kg hm^{-2})	比例 Proportion (%)	平均 Mean (kg hm^{-2})	比例 Proportion (%)	平均 Mean (kg hm^{-2})	比例 Proportion (%)	平均 Mean (kg hm^{-2})	比例 Proportion (%)
化肥 Chemical fertilizer	209.2	73.3	114.1	76.5	33.2	29.7	356.5	65.2
有机肥 Organic manure	76.2	26.7	35.0	23.5	78.7	70.3	189.9	34.8
总量 Amount (kg hm^{-2})	285.4	—	149.1	—	111.9	—	546.4	—
变异系数 CV (%)	63.2	—	85.0	—	94.0	—	63.9	—

2.2 马铃薯施肥量对产量的影响

将氮肥施用量(N) $0 \sim 150 \text{ kg hm}^{-2}$ 、 $150 \sim 250 \text{ kg hm}^{-2}$ 和 $>250 \text{ kg hm}^{-2}$ 分别作为氮肥施用不足、合理和过量的范围^[11-12],将施磷量(P_2O_5) $>90 \text{ kg hm}^{-2}$ 、 $45 \sim 90 \text{ kg hm}^{-2}$ 和 $<45 \text{ kg hm}^{-2}$ 分别作为磷肥施用过、合理和不足的范围,施钾量(K_2O) $>120 \text{ kg hm}^{-2}$ 、 $90 \sim 120 \text{ kg hm}^{-2}$ 和 $<90 \text{ kg hm}^{-2}$ 分别作为过量、合理和不足的范围。对马铃薯不同施肥水平下的产量进行分析(表 2)。结果表明,氮肥施用量超过 250 kg hm^{-2} 的农户马铃薯平均产量较高,为了得到较高产量,农户普遍多施氮肥。马铃薯不同磷、钾肥用量下的产量可以进一步说明施肥量是影响产

量的重要因素但不是唯一因素,马铃薯产量高低可能还与品种、田块肥力状况、气候、水分和管理等因素有关。从农户产量的变异系数可以看出,在同一施肥范围的农户马铃薯产量也会存在很大差异。

2.3 马铃薯施肥量与偏生产力的关系

对马铃薯种植农户不同施肥量下的化肥偏生产力进行分析(表 3),农户施肥不足时化肥偏生产力相对较高,过量施肥时化肥偏生产力相对较低,合理施肥的化肥偏生产力介于两者之间。而钾肥主要靠有机肥来提供,有机肥中钾比例较高。从变异系数来看,农户间化肥偏生产力差异很大,在同一施肥范围的农户化肥偏生产力均差异较大。

表 2 马铃薯不同施肥范围的施肥量和产量

Table 2 Yield of potato and fertilization rate

养分 Nutrient	施肥范围 Fertilizer amount (kg hm ⁻²)	施肥量 Fertilization rate			产量 Yield		
		范围 Range (kg hm ⁻²)	平均 Mean (kg hm ⁻²)	变异系数 CV (%)	范围 Range (kg hm ⁻²)	平均 Mean (kg hm ⁻²)	变异系数 CV (%)
N	>250	252 ~ 1 005	417	34.1	6 750 ~ 45 000	23 373	35.2
	150 ~ 250	151 ~ 245	200	15.3	4 500 ~ 41 250	17 411	54.3
	<150	30 ~ 148	84	38.6	5 250 ~ 52 500	18 555	51.1
P ₂ O ₅	>90	91.5 ~ 735.0	217.0	45.8	6 750 ~ 45 000	21 474	41.8
	45 ~ 90	45.0 ~ 90.0	65.1	20.8	4 500 ~ 52 500	18 869	53.0
	<45	10.5 ~ 44.9	30.0	34.1	7 500 ~ 37 500	18 355	42.2
K ₂ O	>120	131.3 ~ 466.5	269.1	39.3	9 000 ~ 45 000	19 547	49.0
	90 ~ 120	91.4 ~ 115.7	105.1	8.0	7 500 ~ 40 500	18 773	45.1
	<90	7.5 ~ 88.9	55.9	36.9	4 500 ~ 52 500	19 918	44.0

表 3 马铃薯不同施肥量下的化肥偏生产力

Table 3 Partial factor productivity of the fertilizer in potato production relative to fertilizer application rate

养分 Nutrient	施肥量 Fertilizer amount (kg hm ⁻²)	农户比例 Households proportion (%)	偏生产力 Partial factor productivity		
			范围 Range (kg kg ⁻¹)	平均 Mean (kg kg ⁻¹)	变异系数 CV (%)
N	>250	52.9	20.8 ~ 375.0	101.4	72.6
	150 ~ 250	21.6	30.6 ~ 333.3	115.1	65.6
	<150	25.5	75.9 ~ 833.3	300.2	55.1
P ₂ O ₅	>90	55.6	8.7 ~ 750.0	177.0	89.3
	45 ~ 90	30.7	66.7 ~ 1 100	328.8	67.2
	<45	13.7	178.6 ~ 1 667	740.8	53.4
K ₂ O	>120	24.1	76.2 ~ 1 500	412.0	86.4
	90 ~ 120	10.8	69.4 ~ 571.4	234.1	58.4
	<90	65.1	93.8 ~ 1 944	559.4	73.7

表 4 是马铃薯总氮、磷、钾的平均施用量和化肥偏生产力,从中可以看出,在目前平均施肥水平下,马铃薯平均氮(N)、磷(P₂O₅)和钾肥(K₂O)的化肥偏生产力分别为 158.7、278.0 和 416.3 kg kg⁻¹,而总化肥偏生产力仅为 82.3 kg kg⁻¹。可见,马铃薯

化肥总养分的平均偏生产力均较低,而磷肥和钾肥的化肥偏生产力相对较高,尤其钾肥平均化肥偏生产力较高,这可能与农户在钾肥施用上主要以有机肥形式投入以及土壤本身可以提供相当量的钾素有关。

表 4 马铃薯平均施肥量和化肥偏生产力

Table 4 Partial factor productivity of the fertilizer in potato production relative to total nutrient application rate (n = 212)

养分 Nutrient	平均施肥量 Average nutrient rate (kg hm ⁻²)	平均偏生产力 Average partial factor productivity (kg kg ⁻¹)
N	285	158.7
P ₂ O ₅	149.1	278.0
K ₂ O	111.9	416.3
N + P ₂ O ₅ + K ₂ O	546	82.3

进一步对 2009 年马铃薯种植农户的氮磷钾及总化肥施用量与氮、磷、钾及总化肥偏生产力进行散点及其相关趋势进行分析(图 2)。结果表明,马铃薯施氮量与氮肥偏生产力之间、施磷量与磷肥偏生产力之间、施钾量与钾肥偏生产力之间及总施用量与总化肥偏生产力之间并非简单的直线关系,而是显著的负幂函数相关关系,均随着施肥量的增加肥料偏生产力呈负指数幂的趋势降低,相关系数分别为 0.873**、0.872**、0.801** 和 0.805**。

对氮肥而言,施氮量小于 150 kg hm⁻²时,氮肥偏生产力较高,随着施氮的增加氮肥偏生产力下降很快,而农户施氮量在 150~500 kg hm⁻²之间,氮肥

偏生产力均低于 150 kg kg⁻¹。对磷肥而言,施磷量小于 45 kg hm⁻²时,磷肥偏生产力较高,基本在 400 kg kg⁻¹以上,并随着施磷量的增加,磷肥偏生产力下降很快,农户施磷量主要集中在 50~200 kg hm⁻²之间,在这个范围内大部分农户磷肥偏生产力在 300 kg kg⁻¹以下。对钾肥而言,大部分农户施钾量主要集中在 90 kg hm⁻²以下,此时随着单位面积施钾量的增加,化肥钾的偏生产力呈负指数幂的趋势显著下降。对化肥总施用量而言,农户总化肥投入量主要集中在 200~800 kg hm⁻²范围,在这个范围内大部分农户总化肥偏生产力均低于 200 kg kg⁻¹,总化肥投入量在 800 kg hm⁻²以上的农户,总化肥偏生产力更低,基本在 50 kg kg⁻¹以下。

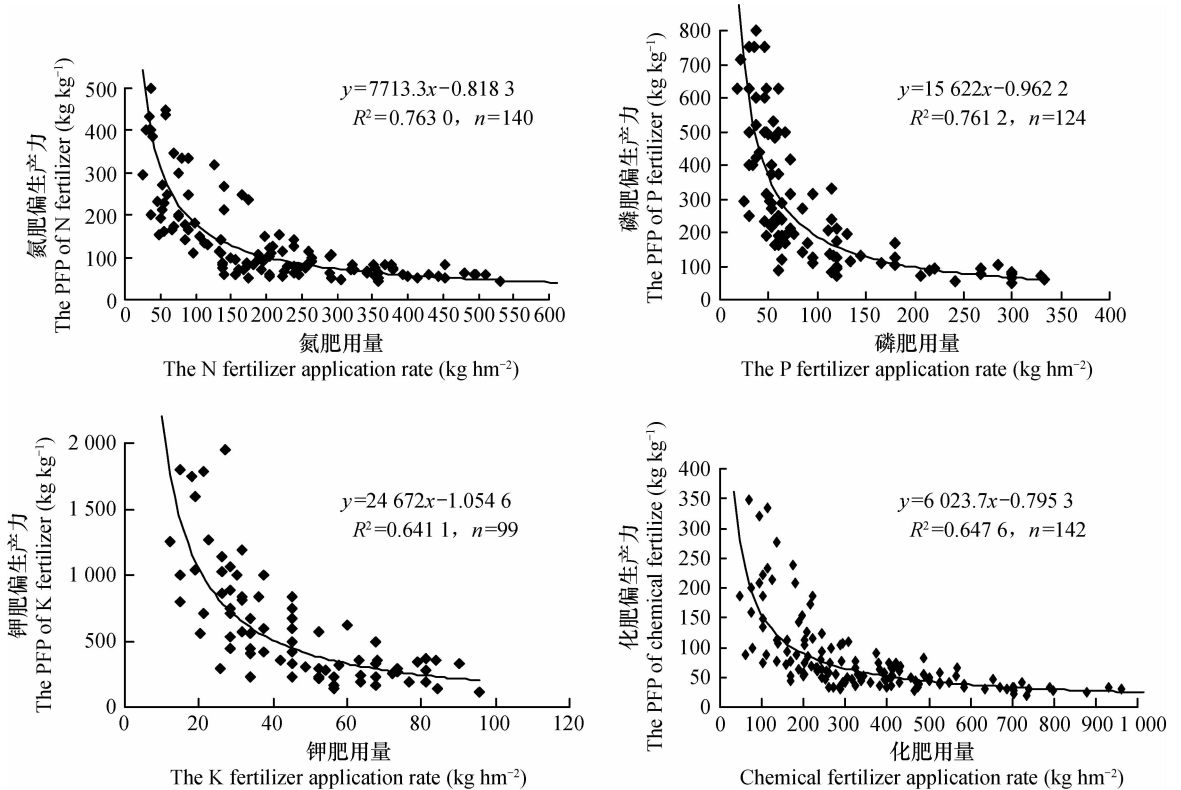


图 2 马铃薯肥料施用量与化肥偏生产力的关系

Fig. 2 Relationships between fertilizer application rate and partial factor productivity of the fertilizer in potato production

3 讨论

3.1 马铃薯施肥状况

本研究结果表明云南省马铃薯单位面积的总养分施用量为 546 kg hm⁻² (N + P₂O₅ + K₂O)。其中氮(N)、磷(P₂O₅)和钾(K₂O)平均养分投入量分别为 285 kg hm⁻²、149.1 kg hm⁻²和 111.9 kg hm⁻²。如果按照每生产 1 000 kg 新鲜的马铃薯需吸收氮(N)

5~6 kg, 磷(P₂O₅) 1~3 kg, 钾(K₂O) 12~13 kg^[13], 那么在目前产量水平下(19 862 kg hm⁻²), 马铃薯所需要的氮(N)为 99.3~119.2 kg、磷(P₂O₅)为 19.9~59.6 kg、钾(K₂O)为 238.3~258.2 kg。在养分投入方面,应当结合土壤基础养分含量适当调整肥料投入量,将氮、磷和钾肥施用量调整为合理范围,以满足马铃薯正常生长发育又不至于造成肥料的浪费,同时提高马铃薯产量和养分的利用效率。此外,马铃薯肥料投入不平衡,农户间施肥差异大,

氮、磷和钾肥施用量变异系数分别为 63.2%、85.0% 和 94.0%。合理调整氮、磷、钾的比例,同时配合施用有机肥,是获得作物高产、优质的重要因素^[14],而合理调控肥料是提高肥料利用率、节本增收的关键^[15]。从氮、磷、钾施用比例来看,马铃薯氮、磷、钾肥投入比例(N:P₂O₅:K₂O)为 1:0.52:0.39,氮磷钾施用比例不协调,钾肥施用明显不足,从而不能很好地发挥肥料养分的效益。在非测土条件下的施肥量,主要按照 1:0.4:1.8 比例以纯氮投入量为基准,计算氮磷钾施入量。再者,马铃薯是喜钾作物,对钾肥需求相对较高,因此,必须在减少氮、磷肥施用量的同时增加钾肥施用量。化肥和有机肥的氮磷钾比例来看,马铃薯的钾肥投入大部分依赖于有机肥,氮、磷肥主要以化肥为主。从施肥时期来看,云南省马铃薯施肥均重在前期施用,基肥比例较大,90% 以上的磷肥和钾肥、60% 以上的氮肥均由基肥施入。马铃薯生育期短,出苗后 25 天左右进入结薯期,营养生长期也短,因此基肥更为重要,按照推荐施肥技术来看,2/3 的氮肥做基肥,1/3 作追肥,磷肥全部作基肥,钾肥总量的 70%~80% 作基肥,20%~30% 作追肥^[16]。因此,进一步说明目前马铃薯生产中应该解决的首要问题是合理调整氮、磷、钾肥料的施用量和施用比例,以发挥肥料养分的综合效应和提高肥料养分效率。从马铃薯生产中农户施肥合理性来看,目前氮、磷和钾肥施用过量的农户分别占总调查农户的 52.9%、55.6% 和 24.1%;氮、磷、钾施用不足的农户分别占总调查农户的 25.5%、13.7% 和 65.1%;合理施用这三种肥料的农户分别占 21.6%、30.7% 和 10.8%,合理施用肥料的农户数比例较低。

3.2 肥料施用量对马铃薯产量的影响

农户对氮、磷、钾肥的施用存在很大差异,不同施肥阶段的平均产量相差较大,同一施肥阶段的农户的平均产量差异也甚大,本研究中施氮量在大于 250 kg hm⁻² 的农户平均产量为 23 373 kg hm⁻²,较施氮量在 150~250 kg hm⁻² 阶段的农户平均产量高 5 962 kg hm⁻²,较施氮量小于 150 kg hm⁻² 阶段的农户平均产量高 4 818 kg hm⁻²。对于磷肥而言,在较高的施肥量下,马铃薯的平均产量也相对较高,氮肥和磷肥在施肥量相对最高时的马铃薯平均产量也相对最高,这可能是农户普遍多施肥料的原因之一,而不同氮、磷施用量水平下农户的平均产量并非如此,说明马铃薯产量可能不仅与某种单一肥料的施用量有关还与多种肥料的配合施用和气候、土

壤肥力、管理措施等因素有关。因此,综合考虑作物养分的需求及肥料养分供应情况对马铃薯产量和肥料利用效率的综合影响,是今后马铃薯生产中的主要研究方向。聂向荣和樊明寿^[17]研究表明,随着施氮量的增加,产量逐渐增加,当施肥量为每 667 m² 18 kg(即 N 270 kg hm⁻²) 时,产量达到最高,之后施肥量的增加并未引起产量的继续增加,反而引起块茎产量一定程度的下降。因此,应该合理调控肥料施用以提高肥料施用的效率。

3.3 肥料施用量与肥料偏生产力的关系

本文发现马铃薯生产中单位磷、钾肥所能生成的马铃薯的经济产量的能力较单位氮肥的高。对于化肥偏生产力而言,氮、磷和钾肥均表现出同一规律,即与较高施肥阶段的化肥偏生产力相比,较低阶段的化肥偏生产力高。可见,在目前马铃薯生产中,化肥施用量是影响化肥偏生产力的重要因素。施肥量增加时化肥偏生产力下降,但不是简单的直线下降,而是随着施肥量的增加,化肥偏生产力呈负指数幂的趋势降低。施肥量与化肥偏生产力之间的显著负幂函数相关关系也说明施肥量是影响肥料偏生产力的重要因素却不是唯一因素,还与作物产量以及所有影响作物产量的因素有关。另一方面,化肥偏生产力包括了地力的贡献,钾肥的偏生产力相对较高,除了有机肥钾占较高比例之外,土壤中钾素供应也有贡献,磷也有类似的情况。

4 结 语

云南省马铃薯施肥不合理,肥料投入不平衡,农户间施肥差异大,变异系数均在 60% 以上;氮磷肥主要靠化肥提供,钾肥主要靠有机肥提供。施肥重在前期符合马铃薯推荐施肥技术要求^[16]。因此马铃薯生产中施肥要解决的首要问题是结合土壤肥力调整化肥施用量和施用比例,配合施用有机肥。合理施用氮磷钾肥的农户分别占调查农户的 21.6%、30.7% 和 10.8%,对此要强化农化服务,加大田间肥料示范试验和肥效比较试验,加大对农户合理施肥和科学施肥的指导力度,发挥基层农技部门的指导作用。此外,推广新品种种植的同时要推广配套的施肥和管理方法,形成当地科学合理的施肥模式,以提高肥料利用效率。马铃薯产量不总是随着施肥量的增加而增加,这也说明了马铃薯产量与多种肥料的配合使用及气候条件、土壤肥力、管理措施等因素有关。化肥偏生产力与化肥施用量

之间呈显著的负幂函数相关关系,说明施肥量是影响化肥偏生产力的重要因素却不是唯一因素,还与作物产量以及所有影响作物产量的因素有关。

参 考 文 献

- [1] 云南省烟草农业科学院. 基于 GIS 的云南烤烟种植区划研究. 北京:科学出版社,2009:1—2. Yunnan Academy of Tobacco Agricultural Sciences. Planting division of flue-cured tobacco in Yunnan Province based-on GIS (In Chinese). Beijing: Science Press, 2009:1—2
- [2] 林郁,李学林,江惠琼,等. 云南省主要农作物生产比较优势与布局探讨. 经济问题探索,2005(5):142—144. Study on the comparative advantage and layout of main crop production in Yunnan Province (In Chinese). Inquiry into Economic Issues, 2005(5):142—144
- [3] 云南统计局. 云南统计年鉴 2011. 北京:中国统计出版社,2011:274—283. Yunnan Bureau of Statistics. Yunnan statistical yearbook 2011 (In Chinese). Beijing: China Statistics Press, 2011: 274—283
- [4] 张卫锋,马文奇,王雁峰,等. 基于 CBEM 模型的 2010 年农田化肥需求预测. 植物营养与肥料学报,2008,14(3):407—416. Zhang W F, Ma W Q, Wang Y F, et al. Forecasting fertilizer demand of China in 2010 using CBEM model (In Chinese). Plant Nutrition Fertilizer Science, 2008, 14(3): 407—416
- [5] 童彦,潘玉君,华红莲,等. 云南省粮食产量影响因素的实证研究. 资源开发与市场,2007,23(7):594—597. Tong Y, Pan Y J, Hua H L, et al. Analysis influence factor of grain yield in Yunnan Province (In Chinese). Resource Development and Market, 2007, 23(7): 594—597
- [6] 王宏庭,金继运. 农业养分资源精准管理研究进展. 山西农业科学,2005,33(1):68—72. Wang H T, Jin J Y. Research advances in nutrient management in precise agriculture (In Chinese). Journal of Shanxi Agricultural Sciences, 2005,33(1): 68—72
- [7] 王祖力,肖海峰. 化肥施用对粮食产量增长的作用分析. 农业经济问题,2008(8):64—67. Wang Z L, Xiao H F. Analysis on the role of fertilization on grain yield growth (In Chinese). Issues of Agricultural Economy, 2008(8):64—67
- [8] 张福锁,王激清,张卫峰,等. 中国主要粮食作物肥料利用率现状与提高途径. 土壤学报,2008,45(5):915—924. Zhang F S, Wang J Q, Zhang W F, et al. Nutrient use efficiencies of major cereal crops in China and measures for improvement (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 2008, 45(5):915—924
- [9] 唐芳,郑毅. 云南省化肥利用现状与提高化肥利用率的措施. 云南农业大学学报,2004,19(2):192—198. Tang F, Zheng Y. The present status of chemical fertilizer application and measures of increasing utilized efficiency of chemical fertilizer in Yunnan Province (In Chinese). Journal of Yunnan Agricultural University, 2004, 19(2): 192—198
- [10] 曲日涛,周长青,宋海燕,等. 小麦—玉米高产区肥料施用状况与养分平衡研究. 中国农学通报,2005,21(12):225—229. Qu R T, Zhou C Q, Song H Y, et al. Fertilizer application and nutrient balance on wheat and maize in high output area (In Chinese). Chinese Agricultural Science Bulletin, 2005, 21(12): 225—229
- [11] 张福锁,崔振岭,王激清,等. 中国土壤和植物养分管理现状与改进策略. 植物学通报,2007,24(6):687—694. Zhang F S, Cui Z L, Wang J Q, et al. Current status of soil and plant nutrient management in China and improvement strategies (In Chinese). Chinese Bulletin of Botany, 2007, 24(6):687—694
- [12] 杨博,陈明昌,杨治平,等. 山西省小麦、玉米养分资源管理现状及其养分平衡研究. 山西农业科学,2008,36(1):3—7. Yang B, Chen M C, Yang Z P, et al. Nutrient resources management and nutrient balance of wheat and maize in Shanxi (In Chinese). Journal of Shanxi Agricultural Sciences, 2008, 36(1):3—7
- [13] 赵冰. 山药、马铃薯栽培技术问答. 北京:中国农业大学出版社,2007:239. Zhao B. Yam, potato cultivation techniques (In Chinese). Beijing: China Agricultural University Press, 2007: 239
- [14] 李晓鸣. 黑龙江省化肥利用现状及对策. 农业系统科学与综合研究,2002,18(1):55—61. Li X M. Situation and countermeasure of using chemical fertilizer in Heilongjiang Province (In Chinese). System Sciences and Comprehensive Studies in Agriculture, 2002, 18(1): 55—61
- [15] 陈兴良,宝宏,张俊宝. 水稻养分资源综合管理技术推广研究. 农业科技通讯,2008(10):46—50. Chen X L, Bao H, Zhang J B. Extension of integrated management technology of resources of rice nutrients (In Chinese). Agricultural Science and Technology, 2008(10):46—50
- [16] 张福锁,陈新平,陈清. 中国主要作物施肥指南. 北京:中国农业大学出版社,2009(2):79—83. Zhang F S, Chen X P, Chen Q. Fertilization guide for the main crops of China (In Chinese). Beijing: China Agricultural University Press, 2009:79—83
- [17] 聂向荣,樊明寿. 马铃薯氮素营养状况的 SPAD 仪诊断. 中国马铃薯,2009,23(4):203—206. Nie X R, Fan M S. Diagnosis of potato nitrogen nutrition status by use of Chlorophyll Meter SPAD - 502 (In Chinese). Chinese Potato, 2009, 23(4): 203—206
- [18] 马骥,张卫峰,马文奇等. 粮食主产区农户化肥信息认知途径调查分析. 磷肥与复肥,2005,20(6):71—73. Ma J, Zhang W F, Ma W Q, et al. Survey and analysis on farmer's cognitive avenue of chemical fertilizer in main grain production region (In Chinese). Phosphate & Compound Fertilizer, 2005, 20(6):71—73

RELATIONSHIP BETWEEN FERTILIZATION RATE AND FERTILIZER PARTIAL FACTOR PRODUCTIVITY IN POTATO PRODUCTION IN YUNNAN PROVINCE

Liu Runmei^{1,3} Fan Maopan¹ Fu Yunzhang³ Zhou Jun³ Zheng Yi^{1,2†} Tang Li^{1†}

(1 College of Resources and Environment, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China)

(2 The National Center for Plateau Wetland of Southwest Forestry University, Kunming 650224, China)

(3 Soil and Fertilizer Workstation of Wenshan Prefecture in Yunnan Province, Wenshan, Yunnan 663000, China)

Abstract Partial factor productivity (PFP) of fertilizer is an important index reflecting overall effect of soil fertility level and fertilizer application rate. Hence, fertilizer application rate has some impact on partial factor productivity of the fertilizer. Based on the questionnaire distributed to 212 potato farmers in 13 counties and 11 prefectures of Yunnan during 2008 ~ 2009, relationship between fertilization rate and PFP of the fertilizer in potato production was explored and fertilization of the farmers was evaluated in rationality. Results indicate that on average, N 285 kg hm⁻², P₂O₅ 149.1 kg hm⁻², and K₂O 111.9 kg hm⁻² was applied in potato production and in practice fertilization rate varied in the range of N 30 ~ 1 005 kg hm⁻², P₂O₅ 10.5 ~ 735.0 kg hm⁻² and K₂O 7.5 ~ 466.5 kg hm⁻², and the PFP of the fertilizers in potato production was 82.3 kg kg⁻¹, and the PFP of N, P and K fertilizers was 158.7 kg kg⁻¹, 278.0 kg kg⁻¹ and 416.3 kg kg⁻¹, respectively. The application rate of N, P and K was in negative exponential relationship with their respective PFP, and so was the application rate of the fertilizers in all with the total PFP, with correlation coefficient being 0.873^{**}, 0.872^{**}, 0.801^{**} and 0.805^{**} respectively. When the application rate of N 150 ~ 250 kg hm⁻², P₂O₅ 45 ~ 90 kg hm⁻², and K₂O 90 ~ 120 kg hm⁻², was set as the rational range of fertilization rate, only 21.6%, 30.7% and 10.8% of the farmers in the survey were termed rational in N, P and K fertilizer application, respectively, in potato production in Yunnan province.

Key words Potato; Fertilization rates; Partial factor productivity of fertilizer

(责任编辑:卢 萍)