

内蒙古马铃薯氮磷钾养分管理

段玉¹ 张君¹ 张三粉¹ 景宇鹏¹ 王博¹ 栗艳芳¹ 李书田²

(1. 内蒙古农牧业科学院资源环境与检测技术研究所, 呼和浩特, 2. 国际植物营养研究所北京办事处, 中国农科院农业资源与农业区划研究所, 北京)

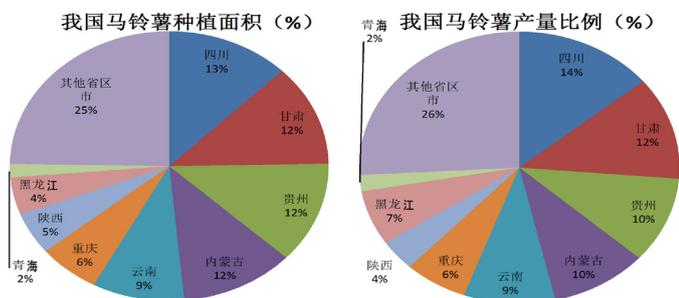
摘要: 为了构建马铃薯生产中氮磷钾养分管理的科学方法, 采用多年多点田间试验方法, 研究了马铃薯施用氮磷钾肥的产量反应、农学效率、养分利用率、单位产量养分吸收量等, 以及产量反应与农学效率的相关关系, 基于土壤养分含量与相对产量的相关关系确定的土壤养分丰缺指标等。结果表明, 施用 NPK 肥的产量反应分别为 268、228 和 179 公斤/亩, 农学效率 (AEN、AEP 和 AEK) 分别为 27.5、46.6 和 29.3 公斤。施用氮磷钾肥的产量反应 (x) 与缺素区的相对产量 (y) 和农学效率 (y) 之间有显著的正相关关系, 可以采用基于作物产量反应和农学效率的推荐施肥方法进行马铃薯的施肥推荐。生产 1000 公斤马铃薯吸收 N、P₂O₅ 和 K₂O 分别为 5.62、1.52 和 6.13 公斤, 由此参数可确定一定马铃薯产量下的养分吸收量。土壤速效氮磷钾含量 (x) 和缺氮区相对产量 (y) 之间有显著的线性相关关系, 依据这一相关关系可以确定内蒙古马铃薯生产的土壤矿质氮、土壤有效磷和土壤交换性钾的养分丰缺指标, 可以指导测土推荐施肥。马铃薯可以采用基于作物产量反应和农学效率的推荐施肥方法进行施肥推荐。

关键词: 马铃薯; 氮磷钾肥; 产量反应; 农学效率; 丰缺指标; 施肥推荐

1 引言

马铃薯 (*Solanum tuberosum* L.) 由于营养价值较高, 容易栽培, 产量较高, 在世界各地广泛种植, 是世界上仅次于稻、麦、玉米的四大粮食作物之一。我国是世界上最大的马铃薯生产国, 马铃薯播种面积是仅次于大豆的第五大作物。2010–2014 年平均马铃薯播种面积平均为 8205 万亩, 总产达 9081 万吨, 占世界总产量的 25% 左右。西部地区是我国马铃薯的主要产区, 四川、甘肃、贵州、内蒙古和云南 5 个省区的播种面积约占全国总播面积的 60%, 产量占全国总产量的 55%。内蒙古自治区是我国马铃薯主产区之一, 2010–2014 年, 全区马铃薯播种面积平均 968 万亩, 占全国的 12%, 总产占全国的 10%^[1]。

马铃薯是浅根系块茎类作物, 通常种植在沙土地和排水良好的土壤上, 这种类型的土壤由于保水保肥能力差, 易造成硝酸盐等养分的淋失, 使得马铃薯养分管理更加困难。科学合理施肥是保证产量、降低投入、增加品质的重要途径^[2]。马铃薯吸收钾素最多, 其次是氮素, 磷素最少, 每生产 1000 公斤马铃薯需要吸收 N、P₂O₅、K₂O 分别为 5.32 公斤, 1.42 公斤和 6.01 公斤^[2-3]。马铃薯生产中由于过量施肥和施肥不平衡现象比较普遍, 导致肥料利用率较低, 施肥效益低下, 甚至增产不增收, 不平衡施肥是限制该区域马铃薯产量和质量的主要因素之一。NPK 肥平衡施用对提高马铃薯产量和品质有很大潜力, 然而, 由于缺乏科学的信息和推荐方法, 种植者不知道应该施用多少氮磷钾肥。常用的推荐施肥方法是采用土壤测试, 可以有效地用于指导施肥, 但适合于不同作物的土壤氮磷钾测定值临界水平难以确定。基于产量反应与农学效率的推荐施肥方法在有或没有土壤测试值的情况下都可以使用, 已在小麦和玉米上进行了大面积应用^[4-5]。另一种推荐施肥量的方法是基于土壤和植物系统的养分平衡。然而, 施用氮磷钾的产量反应、养分利用率、土壤养分供应和生产潜力及马铃薯块茎和植株氮磷钾的吸收和土壤氮磷钾的临界水平



¹ 基金项目: 国际植物营养研究所 (IPNI) 资助项目。

作者简介: 段玉 (1963–), 男, 研究员, 长期从事植物营养与施肥研究。yduan@ipni.ac.cn

之间的关系等相关研究缺乏。本文采用多年多点试验, 研究明确马铃薯施用氮磷钾养分的产量反应, 建立科学的马铃薯生产的养分推荐, 为马铃薯最佳养分管理提供技术支持。

2 材料与方 法

2.1 试验地点

2002—2014 年在内蒙古武川县 62 个、察右中旗 20 个和固阳县 34 个试验地块共进行 116 项次试验。试验地土壤为栗钙土, 砂壤, 土壤养分状况见表 1。

表 1 供试土壤养分状况								
	有机质 (克/公斤)	有效氮	有效磷 (毫克/公斤)	交换钾	pH (1:2.5)	施 N 量	施 P ₂ O ₅ 量 (公斤/公顷)	施 K ₂ O 量
最小值	3.3	23.0	4.6	59.0	7.7	45.0	30.0	30.0
最大值	38.3	152.0	30.9	325.0	8.9	300.0	150.0	225.0
平均	15.7	68.5	9.5	117.0	8.2	172.3	75.2	94.2
标准差	7.41	26.72	4.37	50.02	0.24	48.58	22.92	37.63

2.2 试验处理

试验设四个处理: OPT (NPK), OPT-N, OPT-P, OPT-K。(1) OPT (NPK): N、P、K 化肥配合施用的最优施肥处理, 由中加合作实验室推荐^[6-8]。(2) OPT-N: 不施氮肥处理, 即在 OPT 的基础上减去氮肥;(3) OPT-P: 不施磷肥处理, 即在 OPT 的基础上减去磷肥;(4) OPT-K: 不施钾肥处理, 即在 OPT 的基础上减去钾肥。推荐用量为 3—20 公斤 N/亩, 2—10 公斤 P₂O₅/亩, 2—15 公斤 K₂O/亩, 平均 N—P₂O₅—K₂O 为 11.5—5.0—6.3 公斤/亩。

供试马铃薯品种为“克新一号”。试验用氮肥为尿素, 按 N 46% 计算, 磷肥为重过磷酸钙, 按 P₂O₅ 46% 计算, 钾肥为氯化钾, 按 K₂O 60% 计算, 磷钾肥全部做基肥一次深施, 氮肥 40% 基施, 60% 在生育期间追施。田间管理同一般生产田。

2.3 分析方法

收获时各处理分别收获记产, 并随机取样 3 株, 测定茎、叶和块茎的鲜重, 切碎后 80℃ 烘干测定茎、叶和块茎干物质重, 混匀后粉碎, 过 2 毫米筛备用。植株样品用 H₂SO₄—H₂O₂ 消解后, 全氮用凯氏定氮法, 全磷用钒钼黄比色法, 全钾用火焰光度法测定。

有关计算公式:

某元素的相对产量 (%) (RY) = 缺该元素区产量 / 全肥区产量 × 100

某养分元素的产量反应 (公斤/亩) (YR) = 全肥区产量 - 缺该元素区产量

某养分元素的农学效率 (公斤/公斤) (AE) = (全肥区产量 - 缺该养分区产量) / 该养分施入量;

某养分元素的利用率 (%) (RE) = (全肥区该元素吸收量 - 缺该元素区养分吸收量) / 全肥区该元素养分用量 × 100。

某养分元素的吸收系数 (公斤/1000 公斤) = 全肥区该元素吸收量 (公斤/亩) / 全肥区产量 (公斤/亩)。

2.4 统计分析

缺素区的相对产量、施肥的产量反应、农学效率、NPK 的养分利用率的频率分布图和统计表使用 SPSS 20 软件包。用线性模型来描述土壤可交换的 K (x) 和土壤本身供 K 能力或生产率 (y) 之间的关系。分别用二次模型和线性模型来描述产量反应 (x) 与相对产量 (y) 和农艺效率 (y) 之间的关系。块茎产量 (y) 和总吸 K (x) 量之间的关系用功率模型, 相对产量 (y) 和土壤可交换 K (x) 之间的关系用二次模型描述。回归方程的系数 (R²) 测定模型由 Microsoft EXCEL 2010。

3 结果与分析

3.1 缺氮磷钾区的相对产量

整理了 2002—2014 年进行的 116 项次马铃薯田间试验, 结果见表 2。马铃薯 OPT 处理的产量水平为 355.9—4013.3 公斤/亩, 平均为 1490.7 公斤/亩; OPT-N 的产量为 281.5—3412.0 公斤/亩, 平均 1257.6 公斤/亩; OPT-P 为 296—3426 公斤/亩, 平均为 1297.5 公斤/亩; OPT-K 为 327.8—3702 公斤/亩, 平均为 1312.2 公斤/亩。采用中加合作实验室进行的养分推荐用量 (OPT) 的产量都是最高的且与缺素处理存在显著差异, 说明中加合作实验室的推荐用量是合理的。

表 2 施用 NPK 养分对马铃薯的相对产量、产量反应和农学效率的影响

	缺氮区的	缺磷区的	缺钾区的	施氮的产	施磷的产	施钾的产	施氮的农学	施磷的农学	施钾的农学	
	相对产量	相对产量	相对产量	量反应	量反应	量反应	效率 AE_N	效率 AE_P	效率 AE_K	
	(%)			(公斤/亩)			(公斤/公斤 N) (公斤/公斤 P_2O_5) (公斤/公斤 K_2O)			
样本数	62	62	116	62	62	116	62	62	116	
平均值	81.7	84.5	87.8	267.8	227.9	178.5	27.5	46.6	29.3	
标准差	8.1	7.7	7.1	192.8	199.2	156.0	18.7	32.7	20.7	
最小值	55.7	61.5	69.8	46	11	11	4.6	1.8	1.7	
最大值	97.3	98.8	99.1	840	1067	867	90.3	133.3	95.0	
百分位数	25%	76.7	80.0	81.9	126.8	87.5	80.8	12.5	20.4	14.7
	50%	81.8	83.5	89.2	194.5	153.0	128.5	26.5	38.0	23.9
	75%	88.4	90.1	93.3	413.5	292.5	217.0	36.9	65.9	39.8

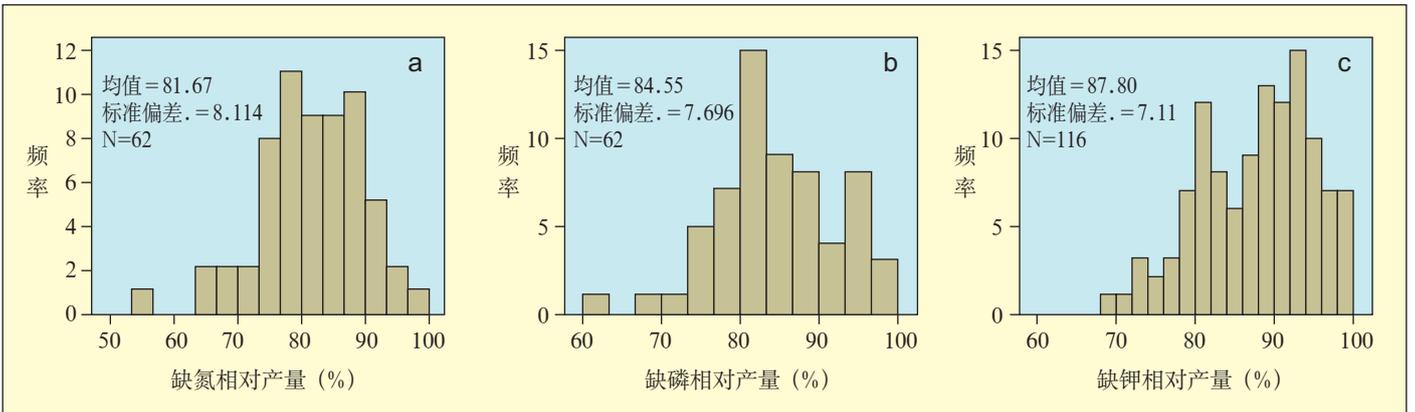


图 1. 不施氮磷钾肥的相对产量的频率分布

马铃薯缺乏区的相对产量（不施用氮磷钾肥）是缺乏处理占全肥区处理的百分数，它反映了该元素对马铃薯产量影响的重要程度。不施氮肥的相对产量（ $n=62$ ）为 55.7%–97.3%，平均为 81.7%，其频率分布如图 1, a, 出现频率较高的是 75%–90%，占 72.5%。不施磷肥的相对产量（ $n=62$ ）为 61.5%–98.8%，平均为 84.5%，其频率分布如图 1, b, 出现频率较高的是 75%–90%，占 64.5%。不施钾肥的相对产量（ $n=116$ ）为 69.8%–99.1%，平均为 87.8%，其频率分布如图 1, c, 出现频率较高的是 80%–95%，占 72.4%。从中看出，氮肥是影响

马铃薯产量的主要因素，其次是磷肥，钾肥对产量的影响相对最小。

3.2 施用氮磷钾肥的马铃薯产量反应

施用氮磷钾肥区（OPT）比缺乏区（OPT-N, OPT-P, OPT-K）的马铃薯产量增加值称为缺该元素的产量反应。施用氮肥的产量反应范围为 46–840 公斤/亩，平均为 267.8 公斤/亩（ $n=62$ ），频率分布表明（图 2, a），80–500 公斤/亩占 77.5%，>500 公斤/亩占 11.3%，<80 公斤/亩占 11.3%；施用磷肥的产量反应范围为 11–

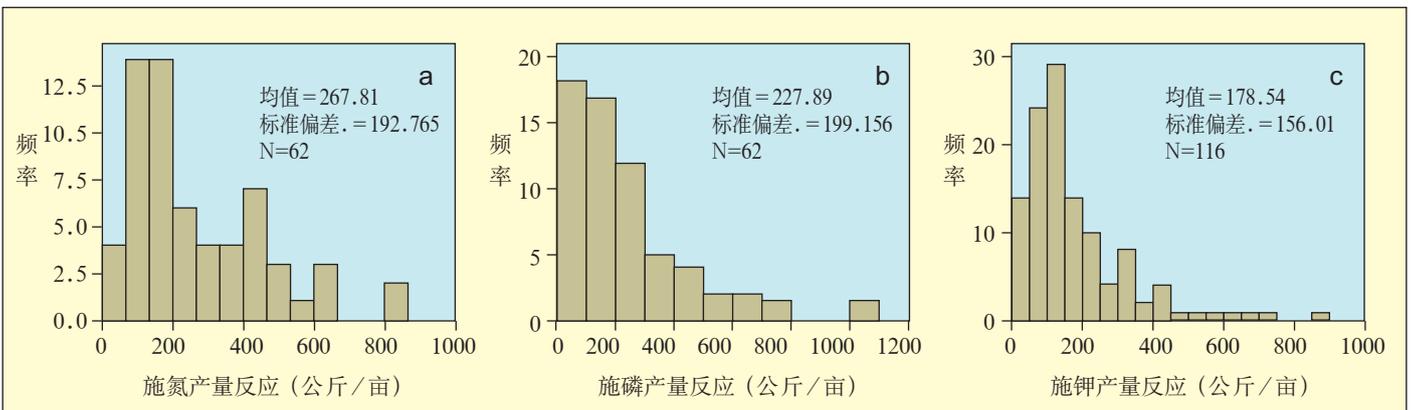


图 2 施用氮磷钾肥的产量反应的频率分布

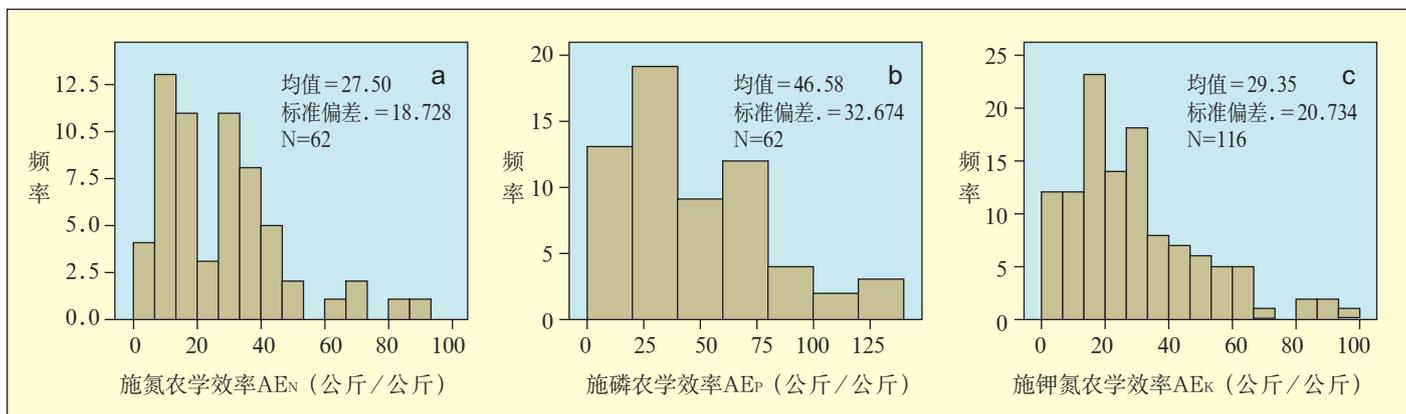


图3 施用氮磷钾肥的农学效率的频率分布

1067 公斤/亩，平均为 227.8 公斤/亩 (n=62)，频率分布表明(图 2, b)，50-300 公斤/亩占 69.4%，>300 公斤/亩占 24.2%，<50 公斤/亩占 6.4%；施用钾肥的产量反应范围为 10.5-866.7 公斤/亩，平均为 178.5 公斤/亩 (n=62) 频率分布表明(图 2, c)，50-250 公斤/亩占 70%，>250 公斤/亩占 20%，>50 公斤/亩占 10%。

3.3 施用氮磷钾肥的农学效率

施用氮肥每公斤 N 增产马铃薯块茎 4.6-90.3 公斤，平均为 27.5 公斤，频率分布表明(图 3, a)，10-40 公斤占 64.5%，>40 公斤占 16.1%，<10 公斤占 19.4%；施

用磷肥每公斤 P_2O_5 增产马铃薯块茎 1.8-133.3 公斤，平均为 46.6 公斤，频率分布表明(图 3, b)，20-70 公斤占 77%，>70 公斤占 15%，<20 公斤占 8%；施用钾肥每公斤 K_2O 增产马铃薯块茎 1.7-95.0 公斤，平均为 29.3 公斤，频率分布表明(图 3, c)，15-40 公斤占 50%，>40 公斤占 24%，<15 公斤占 26%。

3.4 施用 NPK 肥的养分利用率

施用氮肥当季回收率 (REN, N) 为 16%-58%，平均为 32.3%，频率分布表明(表 3, 图 4, a)，20%-40% 占 86.5%，>40% 占 10.8%，<20% 占 2.7%；施用磷

表 3 施用 NPK 养分对马铃薯养分利用率和吸收量的影响							
	氮回收率 AE_N	磷回收率 AE_P	钾回收率 AE_K	N 吸收系数	P_2O_5 吸收系数	K_2O 吸收系数	
	(%)			(公斤/1000 公斤)			
样本数	37	37	91	36	36	90	
平均值	32.3	15.3	37.4	5.6	1.5	6.1	
标准差	8.0	3.5	14.2	1.4	0.4	1.9	
最小值	16.0	7.5	10.2	3	1	3	
最大值	58.0	20.9	92.6	8	3	14	
百分位数	25%	26.4	12.8	25.8	4.3	1.2	4.9
	50%	31.6	14.6	39.1	5.3	1.5	5.7
	75%	36.8	18.35	46.6	6.9	1.8	6.8

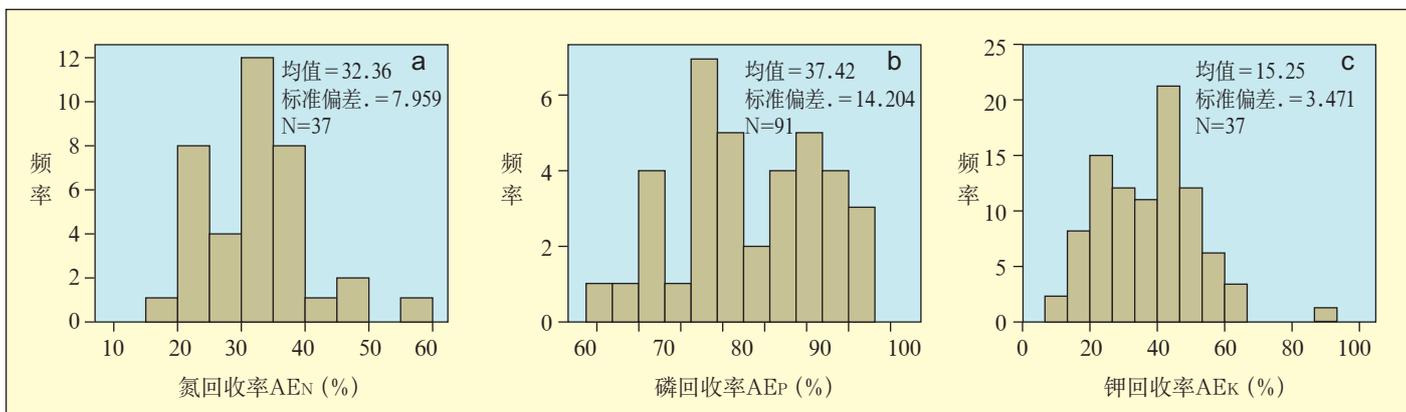


图4 马铃薯施用氮磷钾肥的养分回收率频率分布

肥的当季回收率 (REP, P₂O₅) 为 7.5%–20.9%, 平均为 15.3%, 频率分布表明 (图 4, b), 13%–20% 占 64.9%, >20% 占 8.1%, <13% 占 27.0%; 施用钾肥的当季回收率 (REK, K₂O) 为 10.2%–92.6%, 平均为 37.4%, 频率分布表明 (图 4, c), 20%–55% 占 81.3%, >55% 占 8.8%, <20% 占 9.9%。

3.5 生产 1 吨马铃薯养分吸收量

生产 1 吨马铃薯的养分量称作养分吸收系数, 施用氮肥的吸收系数 (N) 为 3.0–8.0 公斤/吨, 平均为 5.62 公斤/吨, 频率分布表明 (表 3, 图 5, a), 4.0–6.0 公斤/吨占 62%, >6.0 公斤/吨占 30%, <4.0 公斤/吨占 8%; 施用磷肥的吸收系数 (P₂O₅) 为 1.0–3.0 公斤/吨, 平均为 1.52 公斤/吨, 频率分布表明 (图 5, b), 1.0–2.0 公斤/吨占 83%, >2.0 公斤/吨占 14%, <1.0 公斤/吨占 3%; 施用钾肥的吸收系数 (K₂O) 为 3.0–14.0 公斤, 平均为 6.13 公斤/吨, 频率分布表明 (图 5, c), 4.0–8.0 公斤/吨占 88%, >8.0 公斤/吨占 8%, <4.0 公斤/吨占 4%。

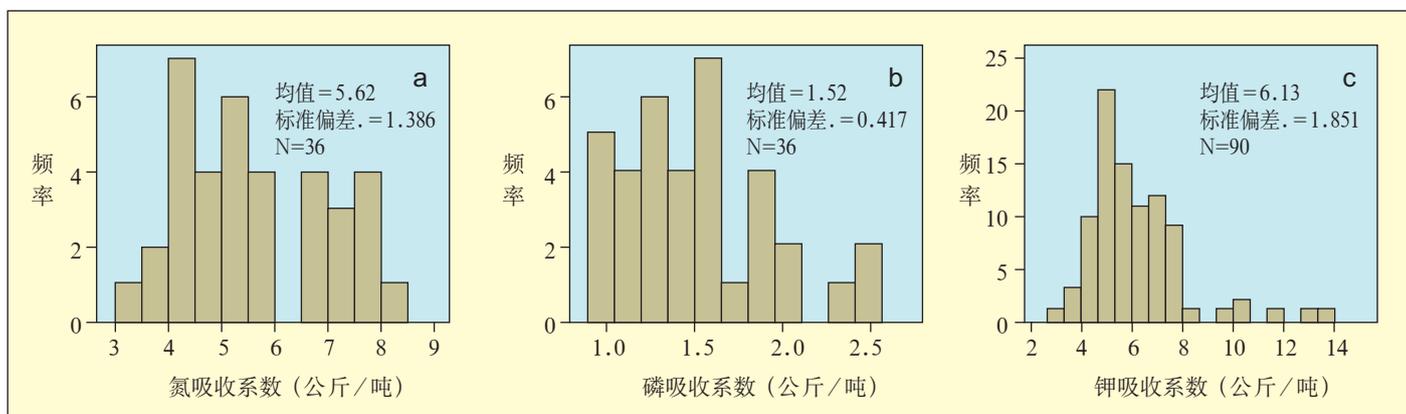


图 5 马铃薯施用氮磷钾肥的养分吸收量频率分布

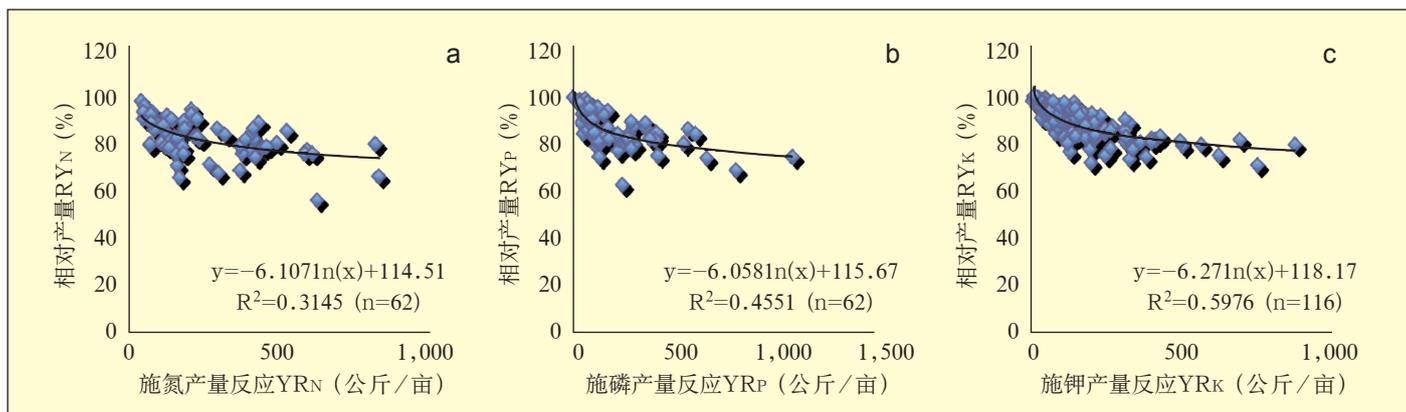


图 6 产量反应与相对产量的相关关系

3.6 产量反应与相对产量和农学效率的相互关系

施用氮磷钾肥的产量反应 (x) 与缺素区的相对产量 (y) 有显著的负相关关系 (见图 5, a, b, c), 施用氮肥为: $y_N = -6.107\ln(x) + 114.51$ $R^2 = 0.3145^*$ (n=62); 施用磷肥为: $y_P = -6.058\ln(x) + 115.67$ $R^2 = 0.4551^{**}$ (n=62); 施用钾肥为: $y_K = -6.27\ln(x) + 118.17$ $R^2 = 0.5976^{**}$ (n=116)。相对产量较高表明土壤本身供肥能力较强, 土壤本身生产能力和可获得的产量差距较小, 这样施肥后产量反应也较小。这种情况也在小麦、玉米等粮食作物中也有相同的表现 (Chuan et al., 2013; Xu et al., 2014)。

施用氮磷钾肥的产量反应 (x) 和农学效率 (y) 之间也有一个显著的正相关关系 (见图 6, a, b, c), 表明产量反应越高农学效率越大。施用氮肥为: $y_N = 17.94\ln(x) - 68.943$ $R^2 = 0.5562^{**}$ (n=62); 施用磷肥为: $y_P = 30.652\ln(x) - 111.13$ $R^2 = 0.719^{**}$ (n=62); 施用钾肥为: $y_K = 18.676\ln(x) - 61.095$ $R^2 = 0.6235^{**}$ (n=116)。

通常产量反应越小表明土壤的肥力越高, 导致农学效

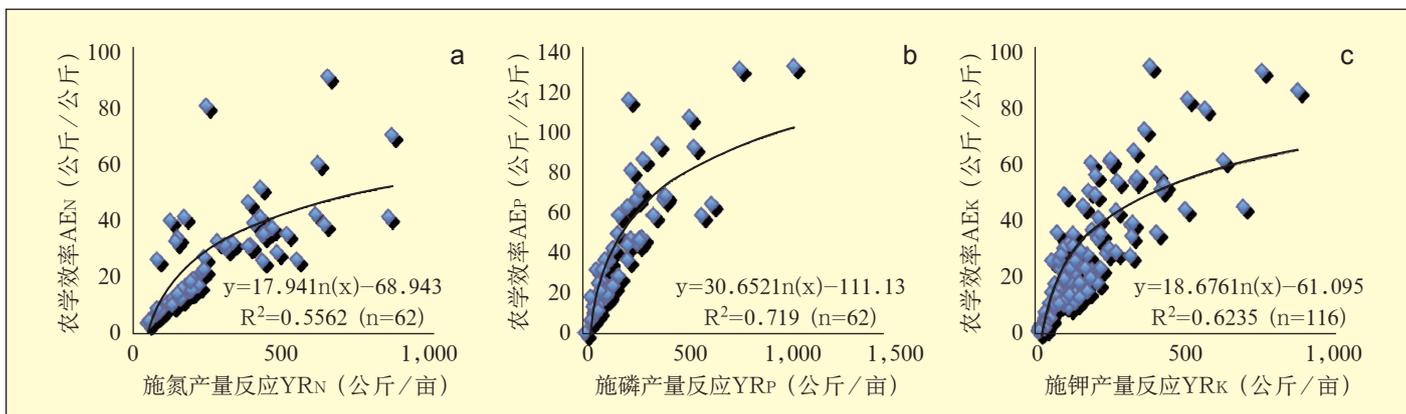


图7 产量反应与农学效率的相关关系

率较低。相反，产量反应越高意味着土壤供肥能力越低，因而施肥农学效率（AE）相对较高。

基于这一相关关系，能够通过给定的产量反应进行推荐施肥。

3.7 土壤氮磷钾养分丰缺标记马铃薯施肥推荐

土壤测试值是评价土壤肥力的重要依据，可以用于指导马铃薯生产的推荐施肥。土壤矿质氮（ x ）和缺氮区相对产量（ yN ）之间可用对数曲线表达： $yN=12.5851\ln(x)+29.787$ $R^2=0.4223^*(n=62)$ ；土壤有效磷（ x ）和缺磷区相对产量（ yP ）之间也可用对数曲线表达：

表4 土壤养分丰缺指标				
丰缺评价	丰缺值 (%)	土壤养分丰缺指标 (毫克/公斤)		
极丰富	>95	>178	>16	>179
丰富	90-95	120-178	12-16	12-179
中等	80-90	54-120	7-12	64-127
缺乏	70-80	24-54	4-7	32-64
极缺	<70	<24	<4	<32

$yP=16.417\ln(x)+49.152$ $R^2=0.6361^{**}(n=62)$ ；土壤速效钾（ x ）和缺钾区相对产量（ yK ）之间也可用对数曲线表达： $yK=14.59\ln(x)+19.323$ $R^2=0.5126^{**}(n=116)$ 。

如果把缺素区相对产量低于70%设定为土壤养分极缺水平，相对产量70%—80%为缺乏水平，相对产量80%—90%为中等水平，相对产量90%—95%为丰富水平，相对产量大于95%为极丰富水平，共5个等级，从而可通过基于上述3个回归方程计算确定内蒙古马铃薯生产的土壤矿质氮、土壤有效磷和土壤交换性钾的养分丰缺指标（见表4）。

可见土壤矿质氮大于120毫克/公斤为土壤氮素丰富水平，可以不施氮肥。土壤有效磷达到12毫克/公斤以上时，说明土壤磷素比较丰富，不需要施用磷肥。土壤速效钾达到127毫克/公斤以上时，说明土壤钾素比较丰富，可以不施钾肥。

推荐施肥量 = (目标产量吸收养分量 - 土壤养分供应量) / 养分利用率

但本方法需要取土测试，针对每一农户田块进行测土

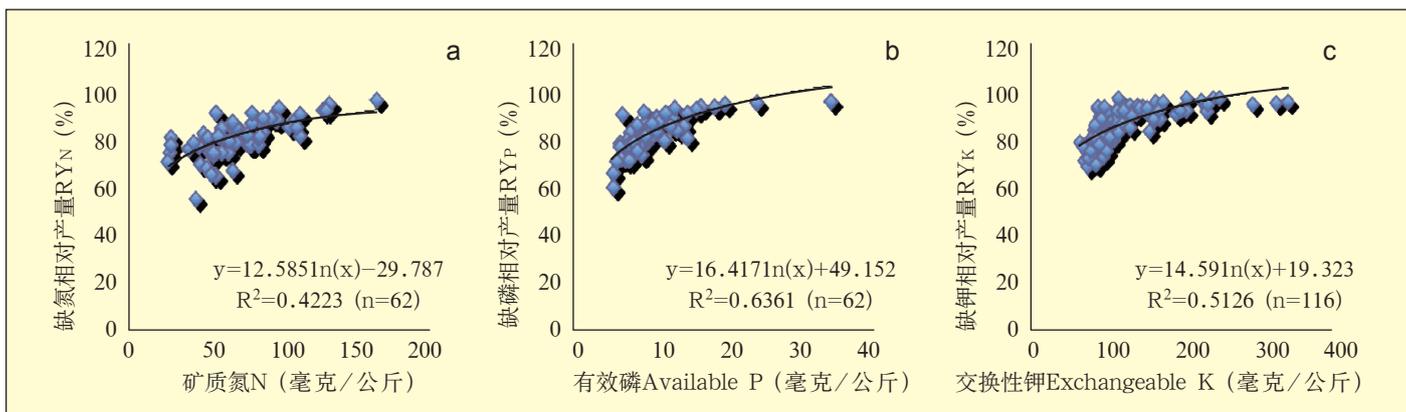


图8 土壤养分状况与相对产量的相关关系

推荐施肥存在困难。

基于施肥的产量反应与农学效率 (AE) 的推荐施肥量 (F) 如下:

推荐养分量 (N 或 P_2O_5 或 K_2O 公斤 / 亩) = 产量反应 (公斤 / 亩) / 农学效率 (AEN 或 AEP 或 AEK) (公斤 / 公斤)

$$F = YR / AE$$

其中: F 是推荐养分量 (公斤 / 亩);

YR 是施用氮磷钾肥的产量反应 (公斤 / 亩), 施用氮肥的产量反应为 46 - 840 公斤 / 亩, 平均为 267.8 公斤 / 亩; 施用磷肥的产量反应为 11 - 1067 公斤 / 亩, 平均为 227.8 公斤 / 亩; 施用钾肥的产量反应为 10.5 - 866.7 公斤 / 亩, 平均为 178.5 公斤 / 亩 (见 2.2);

AE 是施肥的农学效率 (每公斤养分增产的块茎产量, 公斤 / 公斤), 施用氮肥每公斤 N 增产马铃薯块茎 4.6 - 90.3 公斤, 平均为 27.5 公斤; 施用磷肥每公斤 P_2O_5 增产马铃薯块茎 1.8 - 133.3 公斤, 平均为 46.6 公斤; 施用钾肥每公斤 K_2O 增产马铃薯块茎 1.7 - 95.0 公斤, 平均为 29.3 公斤 (见, 2.3);

由 $YR = (1 - RY) \times Ya$, 那么 $F = (1 - RY) \times Ya / AE$

RY 是特定土壤养分测试水平下的相对产量 (%), 如果已知土壤养分的测定值, 那么 RY 可用图 7 中的土壤养分测定值与相对产量之间的回归方程进行估计, 也可由多年试验结果进行估计;

Ya 是施肥获得的产量 (生产实践中的目标产量) (公斤 / 亩);

对于氮素养分推荐施肥, 主要依据产量反应和农学效率, 在内蒙古阴山北麓马铃薯种植区域平均氮素的推荐用量 = 267.8 公斤 / 亩 / 27.5 公斤 / 公斤 = 9.7 公斤 / 亩。

在内蒙古阴山北麓马铃薯种植区域如果目标产量 3000 公斤 / 亩, P_2O_5 的推荐用量平均为: 227.8 公斤 / 亩 / 46.6 公斤 / 公斤 = 4.9 公斤 / 亩。

在内蒙古阴山北麓马铃薯种植区域如果目标产量 3000 公斤 / 亩, K_2O 的推荐用量平均为: 178.5 公斤 / 亩 / 29.3 公斤 / 公斤 = 6.1 公斤 / 亩。

4 结论与讨论

缺素区的马铃薯相对产量越高表明缺少该养分元素

对产量的影响较小, 反之对产量影响较大。本研究表明不施氮肥的相对产量为 81.7%, 不施磷肥的相对产量为 84.5%, 不施钾肥的相对产量为 87.8%。从中看出, 氮肥是影响马铃薯产量的主要因素, 其次是磷肥, 钾肥对产量的影响相对最小。

马铃薯施用 NPK 肥的产量反应分别为 268 公斤 / 亩、228 公斤 / 亩和 179 公斤 / 亩。施用氮肥的农学效率 (AEN) 为 27.5 公斤, 施用磷肥的农学效率 (AEP) 为 46.6 公斤, 施用钾肥的农学效率 (AEK) 为 29.3 公斤。

施用氮磷钾肥的产量反应 (x) 与缺素区的相对产量 (y) 有显著的负相关关系, 相对产量较高表明土壤本身供肥能力较强, 土壤本身生产能力和可获得的产量差距较小, 这样施肥后的产量反应也较小。施用氮磷钾肥的产量反应 (x) 和农学效率 (y) 之间也有显著的正相关关系, 通常产量反应越小表明土壤的肥力越高, 导致农学效率较低。相反, 产量反应越高意味着土壤供肥能力越低, 因而施肥的农学效率 (AE) 相对较高。可以采用基于作物产量反应和农学效率的推荐施肥方法^[4, 5]进行马铃薯的施肥推荐。

生产单位产量马铃薯块茎需要吸收的养分量受土壤养分供应状况、栽培管理技术和气候条件等综合因素的影响其数值不是绝对稳定的而是相对的。试验研究表明, 生产 1000 公斤马铃薯吸收氮素 (N) 为 5.62 公斤 / 1000 公斤, 生产 1000 公斤马铃薯吸收 P_2O_5 为 1.52 公斤 / 1000 公斤, 生产 1000 公斤马铃薯吸收 K_2O 为 6.13 公斤 / 1000 公斤。可以依据这些参数确定一定马铃薯产量下的养分吸收量。

土壤测试值是评价土壤肥力的重要依据, 可以用于指导马铃薯生产的推荐施肥。土壤速效氮磷钾含量 (x) 和缺氮区相对产量 (y) 之间有良好的线性相关关系, 依据这一相关关系可以确定内蒙古马铃薯生产的土壤矿质氮、土壤有效磷和土壤交换性钾的养分丰缺指标, 可以指导测土推荐施肥。

马铃薯可以采用基于作物产量反应和农学效率的推荐施肥方法进行施肥推荐

通有关马铃薯施肥效果、养分利用率、单位产量的养分吸收量这些参数在相关参考文献中都有报道, 但是通过多年多点试验取得的资料较少, 本文总结了 12 年 116 项次的马铃薯试验提出的养分推荐参数有重要的实用价值。

参考文献

- [1] 中国种植业信息网·农作物数据库 [2016-2-5]. 网址: <http://zzys.agri.gov.cn/nongqing.aspx>
- [2] 段玉, 张君, 李焕春, 等. 马铃薯氮磷钾养分吸收规律及施肥肥效的研究 [J]. 土壤 (Soil), 2014, 46(2):212-217
- [3] Duan, Y., Tuo, D., Zhao, P., et al. Response of potato to fertilizer application and nutrient use efficiency in Inner Mongolia [J]. Better Crops, 2013, 97, 24-26.
- [4] Chuan, L., He, P., Pampolino, M.F., et al. Establishing a scientific basis for fertilizer recommendations for wheat in China: yield response and agronomic efficiency [J]. Field Crops Res., 2013, 140, 1-8.
- [5] 何萍, 金继运, Mirasol, F., 等. 基于作物产量反应和农学效率的推荐施肥方法 [J]. 植物营养与肥料学报, 2012, 18 (2): 499-505.
- [6] Hunter, A.H. Laboratory and Greenhouse Techniques for Nutrient Survey to Determine the Soil Amendments Required for Optimum Plant Growth [M]. Agro Service International, Florida, USA., 1980.
- [7] Portch, S., Hunter, A. Modern agriculture and fertilizers [M]. In: PPI / PPIC China Program Special Publication No. 5, Beijing, China., 2002.
- [8] Bai, Y., L. Yang, and J. Jin. Principles and Practices of Soil Test Based Fertilizer Recommendations [M]. China Agriculture Press., 2007.
- [9] Shutian Li, Yu Duan, Tianwen Guo, et al. Potassium management in potato production in Northwest region of China [J]. Field Crops Research, 2015, 174:48-54
- [10] Patricia, I. and S.K. Bansal. Potassium and Integrated Nutrient Management in Potato [C]. Presented at the Global Conference on Potato 6-11 December, New Delhi, INDIA., 1999.
- [11] Robert, M. and Bryan, H. Fertilizer Management Practices for Potato Production in the Pacific Northwest. [http://www.ipni.net/ipniweb/portal.nsf/e0f085ed5f091b1b852579000057902e/1510bfb2a4649f7c8525756f005899e9/\\$FILE/BMPPotato.pdf](http://www.ipni.net/ipniweb/portal.nsf/e0f085ed5f091b1b852579000057902e/1510bfb2a4649f7c8525756f005899e9/$FILE/BMPPotato.pdf).