

马铃薯钾素吸收积累与施用技术

翁定河^{1,2}, 李小萍³, 王海勤⁴, 姜照伟³

(1. 福建农林大学作物科学学院, 福建 福州 350002; 2 福建省种植业技术推广总站,
福建 福州 350003; 3 福建省农业科学院水稻研究所, 福建 福州 350019;
4 福建省漳州市农业技术推广站, 福建 漳州 363000)

摘 要: 为探索马铃薯钾素吸收积累规律和施用技术, 在闽东南冬种马铃薯区设置施 K 量试验。结果表明, 马铃薯全株及块茎的 K 素积累呈 Logistic 曲线动态, 吸 K 盛期在现蕾前 14 d 至成熟前 15 d, 后期块茎新增 K 素主要来自叶片的转移。马铃薯产量与施 K 量呈抛物线型相关, 在供试条件下, 经济施 K 量为 201.6 kg·hm⁻², 预期产量为 37 424 kg·hm⁻², 平均每生产 1 000 kg 块茎需施 K 5.4 kg。
关键词: 马铃薯; 钾素吸收积累; 氯离子毒害; 施肥技术
中图分类号: S 532 文献标识码: A

Potassium absorption and fertilization of potatoes

WENG Ding-he^{1,2}, LI Xiao-ping³, WANG Hai-qin⁴, JIANG Zhao-wei³

(1. College of Crop Sciences, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou, Fujian 350002, China;
2. Agricultural Technology Extension General Station, Fujian Province Department of Agriculture,
Fuzhou, Fujian 350001, China; 3. Rice Research Institute, Fujian Academy of Agricultural
Sciences, Fuzhou, Fujian 350019, China; 4. Agricultural Technology Extension Station
of Zhangzhou, Zhangzhou, Fujian 363000, China)

Abstract: To understand the potassium (K) absorption and fertilization of potatoes, an experiment was conducted in Sout east Fujian using the winter potatoes. The results showed that the K accumulation in the entire plant and tuber of the potatoes was a Logistic dynamic curve. The vigorous stage of the absorption occurred during the 14d before squaring to the 15d prior to maturation. In the late stage, the tuber acquired K primarily from the leaves. The potato yield correlated to the amount of K application parabolically. Under the test conditions, the economic K application was determined to be 201.6 kg·hm⁻² with an expected yield of 37424 kg·hm⁻². On the average, to produce 1 000 kg tubers 5.4 kg of K fertilization were required.
Key words: potato; K absorption accumulation; Cl⁻ toxicity; application technique

闽东南冬季温光资源丰富, 马铃薯可冬种春收, 三月份收获上市时正是我国中部鲜薯供应断档期, 具有销路和价格优势, 因而种植面积逐年扩大, 现已成为我国马铃薯种植新区和春薯北调供应的重要基地。
关于冬种春收区马铃薯高产优质高效栽培技术, 已有一些研究报导^[1-4]。姚宝全等^[5-6]进行了马铃薯测土配方施肥试验, 阐明氮磷钾肥效应及推荐施用量。我国北方种植区研究总结了马铃薯氮磷钾肥吸收量及其比率, 一致肯定马铃薯吸钾量大于

吸氮量, 但氮磷钾肥吸收量报道并不一致^[7-10]。白艳姝^[7]追踪观测了马铃薯各器官氮磷钾的积累运转动态。吴元奇等^[8]报道钾素吸收量随施用量的增加而增加。谭金芳等^[9]报道随着植株营养中心由茎叶向块茎的转移, 氮磷钾在体内的分配也相应地发生变化, 在前中期, 氮磷以分配到叶片为多, 钾以分配到茎枝为多, 在块茎淀粉累积期, 营养器官中的氮磷钾向块茎迅速转移。刘效瑞等^[10]报道施肥对产量和淀粉含量的贡献, 在中低施肥量时是氮大于钾, 在高施肥量时是钾大于氮。

收稿日期: 2010- 02- 03 初稿; 2010- 04- 09 修改稿
作者简介: 翁定河 (1969-), 男, 推广研究员, 主要从事种植业技术的研究和推广
通讯作者: 姜照伟 (1973-), 男, 博士, 副研究员, 主要从事作物生态与栽培学研究
基金项目: 福建省科技计划项目 (2005N032); 福建省科技计划重大专项 (2008NZ0201)

为探索冬种春收区马铃薯钾素的积累运转规律和施用技术, 2008~ 2009 年在福建省龙海市设置钾肥水平试验, 研究马铃薯对钾素的吸收及在各器官的积累运转动态, 探求高产优质高效的钾肥施用技术。

1 材料与方法

1.1 供试地点、时间及材料

供试地点在福建省龙海市海澄镇黎明村, 土壤属海陆相沉积的轻粘性灰泥田, 耕作层含有机质 $34.6\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$, 全 N $2.0\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$, 水解性氮 $157\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 有效磷 $80\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 速效钾 $157\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。供试马铃薯品种为中薯 3 号 (中国农业科学院蔬菜花卉研究所育成), 2008 年 11 月 21 日播种, 12 月 18 日齐苗, 2009 年 1 月 20 日现蕾, 3 月 11 日成熟收获。

1.2 试验方法

设 5 个钾肥施用量, 每公顷分别施 K 0、112.5、225、337.5、450 kg, 各处理统一施 N 225 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$, P 45 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。3 次重复, 共 15 个小区。小区面积 11 m^2 , 畦长 10 m, 畦含沟宽 1.1 m, 畦高 0.4 m。每畦播双行, 株距 20 cm, 平均每平方米播 9.1 株, 每小区 100 株。P 肥选用过磷酸钙 (P 66%), N 肥选用尿素 (N 46%), K 肥选用硫酸钾 (K 41.5%)。P 肥作种肥, N、K 肥的 80% 作种肥, 20% 作苗肥。种肥于播种后 7 d 条施于畦面中央凹槽, 随即覆盖稻草 $3\,000\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$, 清沟培土 5 cm。苗肥于齐苗期对水稀释浇施。栽培管理按当地高产栽培技术实施。

1.3 性状考查

记载播种、齐苗 (70% 出苗)、现蕾 (50% 主茎顶见蕾)、成熟 (50% 叶片枯黄) 等生育期。

块茎成熟时分小区收获, 薯块按大小分为大薯 (单薯重 $\geq 50\text{ g}$)、小薯 (单薯重 $< 50\text{ g}$), 按是否具有商品用途分为商品薯 (大薯和小薯合为商品薯)、劣薯 (裂薯、锈斑薯、青头薯), 分别称重, 计算商品率。

选择第 3 处理进行器官干物重、N、K 和淀粉的追踪测定, 分别于播种 (11 月 21 日)、齐苗 (12 月 19 日)、齐苗后 18 d (1 月 6 日)、现蕾 (1 月 20 日)、现蕾后 15 d (2 月 4 日)、成熟前 15 d (2 月 24 日)、成熟 (3 月 11 日) 等 7 期, 每期挖取 4 株样品, 分解为种薯、块茎 (含匍匐茎)、茎枝 (含叶柄)、绿叶、枯叶等器官, 分别称鲜重后烘干称干物质重。器官干物质样品留存至成熟后粉

碎, 测定 N、K、淀粉含量。N 素测定采用凯氏法, K 素测定采用原子吸收分光光度法, 淀粉测定采用蒽酮比色法。

在供试的黎明村固定 5 个农户记录马铃薯生产过程各项农事操作、投工量、工资, 以及马铃薯大薯、小薯、劣薯的销售价。按大薯重、小薯重所占比率, 计算出商品薯加权平均销售价。同时还调查试验所在地各类化肥零售价。据这些数据, 计算马铃薯产值、工本费和纯经济效益。

2 结果与分析

2.1 马铃薯对钾素的吸收及积累运转

据试验第 3 处理 (每公顷施 K 225 kg、N 225 kg、P 45 kg) 的追踪观测, 马铃薯成熟收获时全株含 K $22\,03\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ ($220.3\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$), 含 N $12.68\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ ($126.8\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$), 按该处理产量 ($38\,091\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$) 计算, 平均生产 1 000 kg 块茎需吸收 K 5.8 kg、N 3.3 kg、K 为 N 的 1.76 倍。由于供试处理施用的 N、K 肥量相等, 而积累的 K 素显著多于 N 素, 显示马铃薯对 K 素的吸收力显著较高。

由表 1、图 1 看出: ①马铃薯全株的 K 素积累动态呈 Logistic 曲线, 半量期在现蕾后 5 d, 高峰期在成熟前 15 d, 其后积累量略有减少, 表明有少量 K 素逸失; ②块茎的 K 素积累动态呈 Logistic 曲线, 半量期在现蕾后 21 d, 高峰在成熟期, 成熟时 K 素积累量占全株总积累量的 72.5%; ③叶片的 K 素积累动态呈单峰曲线, 高峰在现蕾后 15 d, 其后有大量 K 素转运到块茎, 转移率达 57%; ④茎枝 (含叶柄) 的含 K 率最高, 齐苗期达 7.8%, 齐苗后 18 d 至现蕾后 15 d 达 8.5% 左右, 成熟期仍有 6.2%。但茎枝的干物质积累量少, K 素积累绝对量也就不多。茎枝是 K 素运输的通道, 其含 K 量从现蕾至成熟期波动不大; ⑤种薯的 K 素从播种至成熟期逐渐转运到新生器官。但其输出量只占马铃薯新生器官 K 素总积累量的 6%, 表明马铃薯所需 K 素的 94% 来自根系从土壤的吸收。

表 2 显示, 马铃薯从播种至成熟前 15 d 都持续从土壤吸收 K 素, 吸收盛期在现蕾前 14 d 至成熟前 15 d, 吸收速率为 $341\sim 350\text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ 。成熟前 15 d 至成熟, 全株含 K 量略有减少, 表明已很少从土壤吸收 K 素。此期块茎中 K 素的增加, 绝大部分由叶片、少部分由茎枝和种薯转运而来。

2.2 不同施钾水平对马铃薯产量及效益的影响

表 3 列出不同钾肥施用水平的马铃薯产量。经

方差分析, 处理间 F 测验极显著。其中, 每公顷施 K 225 kg 的产量最高, 比空白对照增产 20.1%, 差异达极显著水平; 每公顷施 K 112.5 kg 和 337.5 kg 的产量居次, 分别比空白对照增产 14.9% 和 13.5%, 差异也达极显著水平, 但比每

公顷施 K 225 kg 的处理产量差异也达极显著水平; 每公顷施 K 450 kg 的产量再次之, 比空白对照增产 10.8%, 差异达极显著水平, 比每公顷施 K 337.5kg 的处理减产, 差异不显著。

表 1 马铃薯干物质和 K 素的积累运转动态
Table 1 Accumulation and transportation of dry matters and K in potatoes

时间 (月-日)	生育期	干物质重($\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$)					含 K 率(%)					含 K 量($\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$)				
		种薯	块茎	茎枝	叶片	合计	种薯	块茎	茎枝	叶片	合计	种薯	块茎	茎枝	叶片	合计
12-19	齐苗	47.0	0.3	7.3	8.2	62.8	2.6	2.5	7.8	5.8	3.6	1.22	0.01	0.57	0.48	2.28
01-06		37.9	2.4	14.9	53.1	108.3	2.3	2.5	8.5	7.5	5.7	0.87	0.06	1.27	3.98	6.18
01-20	现蕾	25.8	84.9	21.6	91.8	224.1	2.3	2.7	8.4	6.8	4.9	0.62	2.29	1.81	6.24	10.96
02-04		19.0	204.8	26.5	121.8	372.1	2.4	2.5	8.4	6.9	4.4	0.46	5.12	2.23	8.40	16.21
02-24		15.9	524.7	36.4	136.1	713.1	1.3	2.5	6.8	5.4	3.2	0.19	13.12	2.48	7.35	23.14
03-11		14.5	725.7	35.7	90.7	866.6	0.6	2.2	6.2	4.0	2.5	0.09	15.97	2.36	3.61	22.03

注: ①本处理每公顷施 N 225 kg、P 45 kg、K 225 kg; ②2008 年 11 月 21 日播种时种薯干重 $55 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$, 含 K 量 $1.43 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ 。

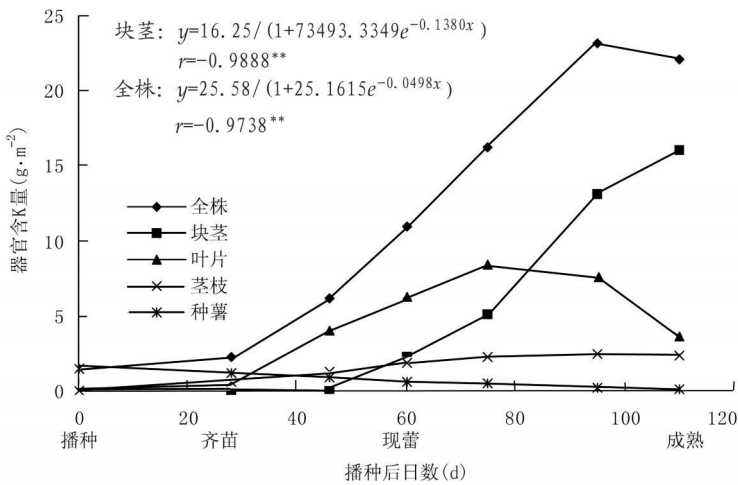


图 1 马铃薯各器官 K 素的积累运转
Fig 1 Accumulation and transportation of K in various potato organs

表 2 马铃薯各时期 K 素吸收量及吸收速率
Table 2 Quantity and rate of K absorption by potato at different growth stages

起止时间 (月-日)	持续日数 (d)	新生器官 K 素净积累量 ($\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$)	种薯 K 素输出量 ($\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$)	土壤 K 素吸收量 ($\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$)	K 素吸收速率 ($\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$)
11-21~12-19	28	1.06	0.21	0.85	30.4
12-19 至翌年 01-06	18	4.25	0.35	3.90	216.7
01-06~01-20	14	5.03	0.25	4.78	341.4
01-20~02-04	15	5.41	0.16	5.25	350.0
02-04~02-24	20	7.20	0.27	6.93	346.5
02-24~03-11	15	-1.01	0.10	-1.11	-74.0
合 计	110	21.94	1.34	20.60	187.3

表 3 马铃薯不同钾肥施用量的产量
Table 3 Yield of potato at varying K application rates

处理 (kg·hm ⁻²)	商品薯产量 (kg·hm ⁻²)				差异显著性		劣薯产量 (kg·hm ⁻²)
	I	II	III	平均	5%	1%	
0	31864	31273	32045	31727±404	d	D	606±139
112.5	36545	35909	36864	36439±486	b	B	546±241
225.0	38000	37600	38673	38091±542	a	A	364±91
337.5	35455	36136	36409	36000±491	bc	BC	652±266
450.0	34636	35773	35091	35167±572	c	C	470±95

注: $PLSD_{0.05}=867.1$, $PLSD_{0.01}=1\,261.5$ 。

表 4 马铃薯不同钾肥施用量的产值、工本费和纯效益
Table 4 Market value, production cost and net profit of potatoes at varying K application rates

处理 (kg·hm ⁻²)	马铃薯产值 (元·hm ⁻²)	工本费(元·hm ⁻²)				纯效益 (元·hm ⁻²)	增收额 (元·hm ⁻²)	增收率 (%)
		K 肥	NP 肥	其他	合计			
0	47712	0	1512	13950	15462	32250	0	0
112.5	54768	1627	1512	13950	17089	37679	5429	16.8
225.0	57209	3253	1512	13950	18715	38494	6244	19.4
337.5	54130	4880	1512	13950	20342	33788	1538	4.8
450.0	52845	6506	1512	13950	21968	30877	-1373	-4.3

注: 计算依据为①马铃薯收购价: 商品薯 1.5 元·kg⁻¹, 劣薯 0.2 元·kg⁻¹; ②化肥零售价: 硫酸钾 6 元·kg⁻¹, 氯化钾 5 元·kg⁻¹, 俄产含氯复合肥 4.5 元·kg⁻¹, 尿素 2 元·kg⁻¹, 碳酸氢铵 0.72 元·kg⁻¹, 过磷酸钙 0.79 元·kg⁻¹。

依据试验期间马铃薯收购价、各类化肥零售价和投工薪资, 计算出不同钾肥施用量处理的产值、工本费和纯效益 (表 4), 结果表明: 每公顷施 K 225 kg 处理的产值和纯效益最高, 分别达 57 209 元和 38 494 元, 比空白对照增收 6 244 元, 增收率

19.4%, 次为每公顷施 K 112.5 kg 的处理, 增收 16.8%。由于钾肥昂贵, 每公顷施 K 337.5kg 的处理增收有限; 每公顷施 K 450 kg 的处理, 虽比空白对照增产 10.8%, 但却比空白对照减收 4.3%。

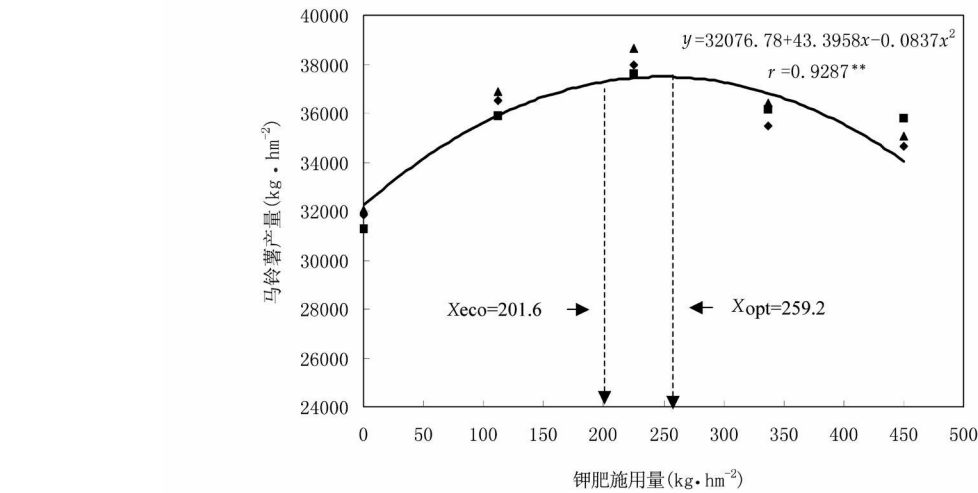


图 2 马铃薯产量与钾肥施用量的关系
Fig 2 Correlationship between potato yield and K fertilization rate

对马铃薯产量与施 K 量进行回归分析, 结果 (图 2) 表明, 马铃薯产量 (y) 与施 K 量 (x) 呈抛物线型相关:

$$y = 32076.78 + 43.3958x - 0.0837x^2, \quad r = 0.9287^{**}.$$

由方程求导, 达到最高产量 (理论产量为 $37\,702\text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$) 的施 K 量为:

$$x_{\text{opt}} = -b/2c = -43.3958/2 \times (-0.0837) = 259.2\text{ (kg} \cdot \text{hm}^{-2}\text{)}.$$

达到最佳经济效益产量 (理论产量为 $37\,424\text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$) 的施 K 量为:

$$x_{\text{eco}} = (-b + p/q)/2c = (-43.3958 + 14.46/1.5)/2 \times (-0.0837) = 201.6\text{ (kg} \cdot \text{hm}^{-2}\text{)}.$$

式中 p 为 K 素单价 ($14.46\text{ 元} \cdot \text{kg}^{-1}$), q 为马铃薯单价 ($1.5\text{ 元} \cdot \text{kg}^{-1}$)。施用达到最佳经济效益的施 K 量, 与施用达到最高产量的施 K 量相比, 马铃薯产量降低 278 kg , 产值降低 417 元 , 但减施 K 肥 57.6 kg , 节支 833 元 , 收支相抵后, 增收 416 元 。

3 结论与讨论

3.1 马铃薯对钾素养分的吸收积累

在本试验每公顷施 N 225 kg 、P 45 kg 、K 225 kg 条件下, 马铃薯每生产 $1\,000\text{ kg}$ 块茎吸收 N 3.3 kg 、K 5.8 kg , N、K 量之比为 $1:1.76$ 。据内蒙古农科所研究报道^[9]和内蒙古农业大学白艳姝定点观测^[7], 马铃薯每生产 $1\,000\text{ kg}$ 块茎吸收 N $5.5 \sim 5.8\text{ kg}$ 、P $1.0 \sim 1.8\text{ kg}$ 、K $7.5 \sim 8.5\text{ kg}$, N、P、K 吸收量之比为 $1:(0.2 \sim 0.3):(1.3 \sim 1.5)$ 。据吴元奇等研究^[8], 马铃薯对 N、P、K 素吸收比例为 $1:(0.21 \sim 0.32):(1.33 \sim 1.75)$ 。综上所述, 马铃薯是需 K 较多并吸 K 力较强的作物。

据本研究追踪观测, 马铃薯全株 K 素积累动态呈 Logistic 曲线, 半量期在现蕾后 5 d , 高峰在成熟前 15 d 。块茎是 K 素接纳中心, 积累动态也呈 Logistic 曲线, 半量期在现蕾后 21 d (成熟前 29 d), 高峰在成熟期, 成熟时 K 素积累量占全株总积累量的 72.5% 。叶片 K 素积累动态呈单峰曲线, 在现蕾后 15 d (成熟前 35 d) 以后有大量 K 素转运到块茎, 转移率 57% 。茎枝是运输 K 素的通道, 含 K 量长期波动不大。种薯 K 素从播种以后逐渐转运到新生器官, 但转运总量只占新生器官 K 素总积累量的 6% , 表明马铃薯所需 K 素的 94% 来自根系从土壤的吸收。马铃薯吸收 K 素盛期在现蕾前 14 d 至成熟前 15 d , 成熟前 15 d 以后

块茎新增的 K 素, 大部分由叶片, 少部分由茎枝和种薯转运而来。据白艳姝^[7]观测, 在北国春播秋收条件下, 马铃薯茎叶 K 素积累呈单峰曲线, 高峰期在成熟前 31 d ; 块茎从出苗至成熟前 14 d , K 素积累动态呈 Logistic 曲线。此一趋势与本研究结果相似, 但后期块茎 K 素流失达 27% , 茎叶 K 素减少 83.5% , 似有误差。

3.2 马铃薯施用钾肥技术

马铃薯产量与钾肥施用量呈抛物线型相关。在供试条件下, 达到最高产量的施 K 量为 $259.2\text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ (理论产量 $37\,702\text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$), 达到最佳经济效益的施 K 量为 $201.6\text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ (理论产量 $37\,424\text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)。经济施 K 量比最高产量施 K 量节省 K 肥 22.2% , 而仅减产 0.7% , 经济效益提高 1.1% 。超量施钾将增产有限乃至减产, 经济效益大幅下降。如施 K $450\text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 比施 K $225\text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 减产 7.7% , 减收 19.8% , 比不施钾肥区虽增产 10.8% , 但减收 4.3% 。基于钾肥昂贵, 肥产价比高, 应大力推荐经济施肥。平均每生产 $1\,000\text{ kg}$ 块茎的经济施 K 量为 5.4 kg 。

本研究还同时同地设置 N 肥施用量试验, 据此得出达到最高产量的施 N 量为 $249.3\text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ (理论产量 $37\,617\text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$), 达到最佳经济效益的施 N 量为 $239.6\text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ (理论产量 $37\,604\text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)。平均每生产 $1\,000\text{ kg}$ 块茎的经济施 N 量为 6.4 kg 。经济施 N 量与经济施 K 量之比为 $1:0.84$ 。比较 N 素与 K 素的吸收量与施肥量, 还看出: 在相同条件下, 马铃薯 K 素吸收量显著高于 N 素吸收量, 但达到相同的目标产量, 只需施用与 N 肥等量的钾肥, 乃至施用比 N 肥略少的钾肥。由此显示, 马铃薯对 K 素具有相对较高的吸收利用能力。

姚宝全等^[6]对闽东南 14 个冬种马铃薯试点的试验资料进行回归分析, 明确达到最佳经济效益 (平均产量 $26\,684\text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$) 的 N、P、K 素施用量为 202.5 、 31.5 和 174 kg , 平均生产 $1\,000\text{ kg}$ 块茎的施肥量为 N 7.6 kg , P 1.2 kg , K 6.5 kg , 三者比率为 $1:0.16:0.86$ 。这一研究结果与本研究结果比较, NPK 肥施用量比率趋势相近, 但单位面积施肥量较低, 而生产 $1\,000\text{ kg}$ 块茎的施肥量较高。研究结果的差异, 可能与后者多数试点的土壤肥力较低、土壤供肥量较少有关, 达到相同的目标产量必然要多施一点肥料。因此, 二者研究结果反映了闽东南马铃薯冬种春收区不同土壤肥力的现实, 为该区提供了 NPK 施用量的适宜范围, 具有

现实指导意义。

鉴于进口复合肥多含等量 NPK 素，国产复合肥 N 多 K 少，均不符合马铃薯喜高 K 高 N 低 P 忌 Cl 的养分需求特性，为了节约生产成本，减少环境污染，马铃薯生产宜按经济施肥推荐量，采用单素化肥混配的优化施肥法。

3.3 含氯化肥对马铃薯产量及品质的影响

马铃薯属喜钾忌氯作物。本研究试验区收获时，发现同丘田非试验区出现大量劣薯（主要是裂薯，一部分为锈斑薯）。经查证系农户施用大量含氯化肥所诱发。当即对含氯化肥施用量和马铃薯产量及品质进行调查，结果是：该农户每公顷施用 1 500 kg 俄产含氯复合肥（16- 16- 16），与不含氯单素化肥混配的试验区第三处理比较，N、K 素施用量相近，P 素施用量多 60 kg · hm⁻²，商品薯产量 27 540 kg · hm⁻²，减产 27. 7%，劣薯产量 8 355 kg · hm²，占总产量的 23. 3%，商品率由第三处理的 99% 下降为 77%。同时，龙海市农业局在海澄镇溪北村设置的含氯俄产复合肥施用量试验也发现类似氯毒现象：每公顷施含氯复合肥 750、1 500、2 250 kg 时，劣薯重分别达 2 325、6 795、12 300 kg，氯害随含氯复合肥施用量的增加而加重。因此，马铃薯生产不宜大量施用含氯化肥，如氯化钾、氯化铵、含氯复合肥。

含氯化肥对作物的毒害，主要是氯离子（Cl⁻）胁迫。蒋高明报道^[11]，当细胞过多聚集 Cl⁻ 以后，首先破坏细胞内离子平衡，对细胞酶活性及膜系统机构产生特异性效应，从而影响一系列代谢，进而严重影响植物的生长发育。据马国瑞等研究^[12]，马铃薯、甘薯、烟草、茶叶是对 Cl⁻ 敏感的作物，引发氯害的土壤水溶性 Cl⁻ 含量临界值

为 300 mg · kg⁻¹，引发氯害的叶片含 Cl⁻ 临界值为 3~ 5 g · kg⁻¹ 叶干重。马铃薯氯害症状是主茎萎缩，叶片褪淡黄化，叶缘卷曲有黄斑，新叶变小，严重时老叶枯黄脱落，根系腐烂。尚未见氯害引发块茎发育畸变的报道。氯害的生理学细胞学机理有待深入研究。

参考文献:

[1] 林永忠. 闽东南冬马铃薯高产的气候生态与标准化栽培 [J]. 江西农业学报, 2008, 20 (8): 14- 16.

[2] 陈瑞锦. 长乐市冬种马铃薯栽培技术要点 [J]. 福建农业科技, 2007 (4): 23- 24.

[3] 黄清桂. 影响马铃薯品质的栽培因素及相应对策 [J]. 福建农业科技, 2007 (4): 29- 30.

[4] 陈少珍, 郑龙川, 洪跃通. 马铃薯新品种引进试验初报 [J]. 福建农业科技, 2007 (4): 39- 41.

[5] 姚宝全. 冬季马铃薯氮磷钾肥料效应及其适宜用量研究 [J]. 福建农业学报, 2008, 23 (2): 136- 140.

[6] 姚宝全, 徐志平, 章明清, 等. 福建主要粮油作物测土配方施肥指标体系研究 III. 区域施肥模型及其推荐施肥 [J]. 福建农业学报, 2009, 24 (2): 137- 142.

[7] 白艳姝. 马铃薯养分吸收分配规律及施肥对营养品质的影响 [D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2007.

[8] 吴元奇, 李尧权. 种植密度和施肥对马铃薯养分吸收及土壤肥力的影响 [J]. 沈阳农业大学学报, 1988, 29 (4): 310- 313.

[9] 谭金芳, 张自立, 邱慧珍. 作物施肥原理与技术 [M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2003: 214- 217.

[10] 刘效瑞, 伍克俊. 氮、磷、钾肥配施对马铃薯增产增收的效果 [J]. 马铃薯杂志, 1994, 8 (4): 214- 217.

[11] 蒋高明. 植物生理生态学 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2004: 200- 212.

[12] 马国瑞, 石伟勇. 农作物营养失调症原色图谱 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2002: 100- 102.

(责任编辑: 林海清)