

马铃薯产量和品质对钾肥品种和施用时期的响应

李书田^{1*}, 段玉², 郭天文³, 张平良³

(1. 中国农业科学院农业资源与农业区划研究所, 北京 100081; 2. 内蒙古农牧业科学院资源环境与可持续发展研究所, 内蒙古 呼和浩特 010031;
3. 甘肃省农业科学院旱地农业研究所, 甘肃 兰州 730070)

摘要: 利用田间试验研究了不同钾肥品种和施钾时期对旱地和水浇地马铃薯块茎产量、品质和钾肥利用效率的影响。在钾肥用量相同的条件下选择氯化钾 (KCl)、硫酸钾 (K_2SO_4) 和硝酸钾 (KNO_3) 3 种钾肥品种, 分别在种前基施、分次施用 (50% 播前基施 +50% 花期追施) 和全部花期追施, 并设不施钾肥对照处理。结果表明, 与不施钾肥对照相比, 在内蒙古施用钾肥显著提高了旱地和水浇地的马铃薯块茎产量, 且 KNO_3 播前基施或分次施用块茎产量最高, 但在甘肃试验上只有播前基施 KCl 显著提高了块茎产量。与不施用钾肥的对照相比, 施用钾肥还增加了马铃薯对钾的吸收, 改善了块茎品质。多因素方差分析结果表明, 在旱地和水浇地上, 不同钾肥品种对马铃薯产量、钾素吸收量、商品薯率、单薯重和淀粉含量影响无显著差异, 但显著影响还原糖含量, 旱地条件下施用 KCl 和水浇地施用 KNO_3 的还原糖含量比施用 K_2SO_4 低。钾肥施肥时期显著影响旱地和水浇地马铃薯块茎产量和钾素吸收量, 钾肥播前基施比全部花期追施块茎产量高, 钾素吸收量大, 与分次施用相当。施用 KCl 的农学效率 (AE_K) 高于或相当于施用 K_2SO_4 , 播前基施钾肥的 AE_K 比分次施肥和全部花期追施高。综上所述, 马铃薯产量和品质对施用 KCl 的响应优于或相当于 K_2SO_4 和 KNO_3 , 在试验区马铃薯生产中推荐播前基施 KCl。

关键词: 马铃薯; 钾肥品种; 施钾时期

马铃薯比其他蔬菜作物需钾量高, 有时被作为钾有效性的指标作物^[1]。马铃薯对土壤钾 (K) 的吸收量大于氮 (N) 和磷 (P), 是氮的 1.5 倍, 是磷的 4 ~ 5 倍^[2]。研究表明^[3], 每生产 1 t 马铃薯块茎需要吸收 5.6 kg N、1.5 kg P_2O_5 和 6.1 kg K_2O 。钾在植物淀粉和糖类合成和运输过程中起着关键作用^[4], 施用钾肥对提高块茎品质的作用比提高产量的作用更强^[5]。由此可见, 钾肥在马铃薯生产中是非常重要的。但农民习惯施肥只关注氮磷肥施用, 再加上传统上认为西北地区土壤钾素丰富, 所以很少使用或不施用钾肥。长期高产条件下作物的移走和钾肥投入不足不仅不断消耗土壤钾库, 还影响马铃薯块茎品质。只有选择合适的钾肥品种、用合适的用量、在合适的时期施在正确的位置, 才能提高马铃薯的产量和品质。

钾肥品种很多, 主要包括氯化钾 (KCl)、硫酸钾 (K_2SO_4) 和硝酸钾 (KNO_3) 3 个钾肥品种。KCl 价格相对低, 施用经济实惠。 K_2SO_4 虽然价格高, 但其施用安全还可以提供硫素营养, 尤其对缺硫土壤还可解决缺硫问题, 所以经常在马铃薯生产上推荐施用。硝酸钾能同时提供氮和钾 2 种养分, 但其价格相对高, 而且由于安全问题不易购买到。有些研究比较 3 种钾肥品种和用量对马铃薯块茎产量和品质的影响, 但没有一致的结论。多数研究表明, 钾肥品种和用量对马铃薯块茎产量、淀粉含量、还原糖含量没有显著影响^[6-8], 尽管施钾有降低茎和块茎顶端还原糖的趋势, 但钾肥品种对块茎还原糖和蔗糖含量的影响很小^[9]。钾肥用量也影响钾肥品种间的差异, 有研究表明, KCl 和 K_2SO_4 对块茎总产量的影响没有显著差异, 但用量在 K_2O 280 kg/hm² 时, K_2SO_4 比 KCl 更能提高块茎产量, 施用 K_2SO_4 高于此用量后块茎产量下降, 但施用 KCl 并不影响块茎产量^[10]。

有关钾肥施用时期的研究不多, 而且大部分研究表明种植前施用钾肥比分次施用钾肥块茎产量

收稿日期: 2024-03-12; 录用日期: 2024-04-31

基金项目: 国家重点研发计划项目 (2016YFD0200103)。

作者简介: 李书田 (1966-), 研究员, 博士, 研究方向为植物营养与施肥。E-mail: lishutian@caas.cn。同为通讯作者。

更高,但也因钾肥品种而不同^[11-14]。有研究指出热带土壤上马铃薯施用KCl时,与种植前一次施用相比,分次施用对马铃薯钾素营养、块茎产量和品质没有影响^[15]。在我国马铃薯主产区西北地区的旱地和水浇地上不同钾肥品种比较以及钾肥品种与施钾时期的交互作用尚未系统研究,而确定正确的钾肥品种和施钾时期对于成本效益高的马铃薯生产是必要的。因此,本研究主要包括:1)钾肥品种和施钾时期对马铃薯产量和品质的影响,2)钾肥品种与施钾时期对钾肥利用效率的影响。

1 材料与方法

1.1 试验地点

田间试验选择在内蒙古武川县上秃亥(北纬 $41^{\circ} 8'$,东经 $111^{\circ} 17'$)和甘肃定西县团结镇(北纬 $35^{\circ} 36'$,东经 $104^{\circ} 35'$)的旱地和水浇地上进行。内蒙古武川县属中温带大陆性季风气候,年均降水量355 mm,年均气温 $2.5 \sim 4.2^{\circ}\text{C}$,无霜期 $90 \sim 120$ d,土壤类型为栗钙土,质地为砂壤土。甘肃定西属南温带半湿润-中温带半干旱区,年均降水量 $350 \sim 600$ mm,年均气温 $5.5 \sim 7.7^{\circ}\text{C}$,无霜期 $122 \sim 160$ d,土壤类型为黄绵土,质地为粘壤土。施肥前在试验地随机选取10个采样点采集耕层(0~20 cm)土壤样品,风干后磨细过2 mm筛用于土壤理化性状分析。土壤有机质、矿质氮($\text{NH}_4^+-\text{N}+\text{NO}_3^--\text{N}$)、土壤有效磷、土壤交换性钾、土壤pH均采用常规方法测定。供试土壤理化性状列于表1。

表1 供试土壤理化性状

项目	内蒙古武川		甘肃定西	
	旱地	水浇地	旱地	水浇地
pH	8.2	8.4	8.1	8.1
有机质(g/kg)	9.7	10.2	6.2	6.5
矿质氮(mg/kg)	8.9	4.4	51.5	103.4
有效磷(mg/kg)	31.2	13.6	18.4	39.1
速效钾(mg/kg)	71.3	75.3	137.6	189.4

1.2 试验设计

试验选取KCl、 K_2SO_4 和 KNO_3 3个钾肥品种,设3个施肥时期:播前基施、基追结合(50%播

前基施和50%花期追施)、全部花期追施。共设10个处理:1)不施钾肥(CK);2)KCl全部播前基施;3)KCl 50%播前基施+50%花期追施;4)KCl全部在花期追施;5) K_2SO_4 全部播前基施;6) K_2SO_4 50%播前基施+50%花期追施;7) K_2SO_4 全部在花期追施;8) KNO_3 全部播前基施;9) KNO_3 50%播前基施+50%花期追施;10) KNO_3 全部在花期追施。试验采用随机区组设计,各处理重复3次,小区面积 30 m^2 。除对照不施钾外,其他处理氮、磷、钾用量相同,推荐施肥量采用国际农业服务系统方法中的推荐量^[16], $\text{N}-\text{P}_2\text{O}_5-\text{K}_2\text{O}$ 推荐量内蒙古武川旱地马铃薯为 $150-60-75\text{ kg/hm}^2$,水浇地马铃薯为 $240-90-165\text{ kg/hm}^2$,氮肥用尿素,磷肥用磷酸二铵。甘肃定西旱地和水浇地马铃薯均为 $210-90-90\text{ kg/hm}^2$,氮肥用尿素,磷肥用过磷酸钙。

1.3 试验实施

在内蒙古试验点,马铃薯品种为紫花白,生育期100 d。旱地和水浇地马铃薯的种植采用全膜双垄种植技术,垄高 $20 \sim 25\text{ cm}$,窄垄宽 35 cm ,宽垄宽 65 cm 。马铃薯种薯种在宽垄两侧,株距为旱地 45 cm 、水浇地 35 cm 。旱地和水浇地马铃薯的种植密度分别为 40000 和 50000 株/ hm^2 。氮、磷和钾肥在起垄前条施后翻压垄下,追施的钾肥在7月25日开花期条施在马铃薯两行之间。旱地马铃薯生育期降雨量 246 mm ,水浇地马铃薯采用滴灌,用水量 120 mm 。

在甘肃试验点,马铃薯品种为新大坪,生育期115 d。旱地马铃薯栽培采用全膜双垄种植技术,垄高 $15 \sim 20\text{ cm}$,窄垄宽 40 cm ,宽垄宽 70 cm ,马铃薯种薯种在宽垄两侧,株距为 33 cm 。水浇地马铃薯采用起垄覆膜种植法,垄高 $20 \sim 25\text{ cm}$,宽 80 cm ,马铃薯种薯种在宽垄两侧,株距为 33 cm 。旱地和水浇地马铃薯的种植密度分别为 49500 和 52500 株/ hm^2 。氮、磷和钾肥在起垄前条施后翻压垄下,追施的钾肥在开花期(7月8日)条施在马铃薯两行之间。旱地马铃薯生育期降雨量 432 mm ,水浇地马铃薯采用漫灌,用水量 300 mm 。

1.4 样品采集与测定

成熟期用铁锹人工收割每个小区的马铃薯,并记录块茎总产量、商品薯(单薯重 $\geq 150\text{ g}$)量。此外,从每个小区随机采取5株完整的马铃薯植株,

并将其分为块茎和地上部藤蔓，分别测定和记录鲜重，再取 1 kg 块茎和 200 g 上部藤蔓在 70℃ 下干燥至恒重，测量块茎和藤蔓干物质质量，然后粉碎过 0.5 mm 筛。植物样品含钾量采用 H₂SO₄-H₂O₂ 消化，火焰光度法测定^[17]，淀粉含量用蒽酮比色法测定^[18]，还原糖含量采用 3,5-二硝基水杨酸比色法测定^[19]。

1.5 统计分析

钾肥的农学效率 (AE_K) 是指单位施钾量的增产产量，即 $AE_K = (Y - Y_0) / F$ ，式中，Y 为施钾处理块茎的产量 (kg/hm²)，Y₀ 为不施钾对照处理块茎产量 (kg/hm²)，F 为施钾量 (K₂O kg/hm²)。

利用 SAS 8 对施钾影响块茎产量、钾吸收量、各品质指标采用单因素方差分析，对试验地点、钾肥品种和施钾时期对块茎产量、品质指标、AE_K 的

影响采用多因素方差分析。

2 结果与分析

2.1 旱地马铃薯的产量品质对钾肥品种和施钾时期的响应

在旱地马铃薯上 (表 2)，内蒙古试验点施钾肥显著增加块茎产量，比不施钾肥对照提高产量 8.0% ~ 19.9%，平均 12.8%，其中 KNO₃ 分次施用的产量最高，而甘肃试验点仅基施 KCl 显著提高块茎产量 11.3%。在内蒙古和甘肃 2 个试验点，施钾处理马铃薯的钾吸收量均显著高于不施钾对照。在品质指标方面，2 个地点大多数施钾处理显著提高块茎淀粉含量。在内蒙古试验点施用钾肥有降低块茎还原糖含量的趋势。施用钾肥对商品薯率没有显著影响，而在内蒙古试验点施钾肥增加了单薯重。

表 2 旱地马铃薯上不同钾肥品种和施钾时期的产量、品质和吸钾量效应

钾肥品种	施钾时期	块茎产量 (t/hm ²)		吸钾量 (K kg/hm ²)		淀粉含量 (%)		还原糖含量 (%)		商品薯率 (%)		单薯重 (g)	
		内蒙古	甘肃	内蒙古	甘肃	内蒙古	甘肃	内蒙古	甘肃	内蒙古	甘肃	内蒙古	甘肃
CK		17.6d	20.3b	59.8c	167.8d	13.6d	17.7e	1.58a	0.45ab	56.9ab	65.2a	103.1b	156.0a
KCl	P ^a	19.8bc	22.6a	90.1a	222.2a	14.3abc	19.0a	1.36ab	0.41b	60.8a	68.3a	118.1a	165.4a
KCl	S ^b	19.5bc	21.5ab	73.0b	212.2a	14.6ab	18.4bc	1.34ab	0.44ab	61.9a	65.9a	113.2ab	160.3a
KCl	T ^c	19.0c	21.0ab	72.5b	191.9bc	14.7a	18.3bcd	1.08b	0.42b	56.2ab	67.8a	112.1ab	162.4a
K ₂ SO ₄	P	19.5bc	21.8ab	80.5b	225.0a	14.3abc	18.6ab	1.35ab	0.46a	62.0a	69.3a	114.4ab	165.8a
K ₂ SO ₄	S	19.9abc	21.3ab	75.2b	216.5a	14.5ab	17.8de	1.34ab	0.47a	57.9ab	67.3a	119.9a	156.9a
K ₂ SO ₄	T	19.3c	20.7ab	70.1b	185.3c	14.2abc	18.5bc	1.66a	0.45ab	58.2ab	62.9a	109.0ab	157.5a
KNO ₃	P	20.8ab	21.1ab	80.1ab	208.3ab	14.7a	18.1cde	1.24b	0.47a	61.0a	65.6a	116.0a	159.1a
KNO ₃	S	21.1a	20.4ab	74.8b	191.3bc	13.8cd	17.7e	1.40ab	0.46a	58.7a	66.6a	117.1a	155.6a
KNO ₃	T	19.8bc	20.1b	71.8b	189.6c	14.1bcd	17.8de	1.23b	0.47a	49.0b	63.2a	113.7ab	157.4a

注：^aP 表示基施；^bS 表示基追；^cT 表示追施；同一列中数字后不同字母表示差异达 5% 显著水平。表 4 同。

多因素方差分析表明，不同地点的旱地马铃薯块茎产量、品质指标和吸钾量具有显著差异，不同钾肥品种对块茎产量、吸钾量、商品薯率、单薯重和块茎淀粉含量的影响没有显著差异，但显著 ($P < 0.05$) 影响块茎还原糖含量 (表 3)。分组平均值比较不同钾肥品种表明，在旱地马铃薯上施用 KCl 的块茎还原糖含量显著低于施用 K₂SO₄ 或 KNO₃。钾肥的施用时期显著影响旱地马铃薯块茎产量、吸钾量和商品薯率 (表 3)。钾肥基施比全

部花期追施提高了旱地马铃薯产量、吸钾量和商品薯率。钾肥分次施用的效果与基施和全部追施相比没有显著差异。钾肥品种和施用时期对旱地马铃薯块茎还原糖含量有显著的交互作用，说明施肥时期影响不同钾肥品种对马铃薯块茎还原糖含量的作用，反之亦然。

2.2 水浇地马铃薯产量品质对钾肥品种和施钾时期的响应

在水浇地马铃薯上 (表 4)，内蒙古试验点

表 3 旱地马铃薯上不同钾肥品种和施用时期效应的多因素方差分析

项目	块茎产量 (t/hm ²)	吸钾量 (K kg/hm ²)	商品薯率 (%)	单薯重 (g)	淀粉 (%)	还原糖 (%)
<i>F</i> 值显著性						
试验地点 (L)	***	***	***	***	***	***
钾肥品种 (S)	NS	NS	NS	NS	NS	*
施钾时期 (T)	*	**	*	NS	NS	NS
L × S	NS	NS	NS	NS	NS	NS
L × T	NS	NS	NS	NS	NS	NS
S × T	NS	NS	NS	NS	NS	*
L × S × T	NS	NS	NS	NS	NS	NS
分组平均值						
试验地点						
内蒙古	20.7a	76.5b	58.9b	114.8b	14.4b	1.33a
甘肃	20.4a	194.7a	66.7a	160.1a	18.3a	0.45b
钾肥品种						
KCl	20.6a	140.8a	63.9a	138.6a	16.6a	0.84b
K ₂ SO ₄	20.4a	136.0a	62.9a	137.2a	16.3a	0.95a
KNO ₃	20.5a	129.9a	61.6a	136.5a	16.1a	0.88a
施钾时期						
播前基施	20.9a	146.6a	65.3a	139.8a	16.6a	0.88a
基追结合	20.6ab	134.4ab	62.5ab	137.2a	16.2a	0.91a
全部追施	20.0b	125.7b	60.5b	135.4a	16.2a	0.88a

注: *、**、*** 分别表示 $P < 0.05$ 、 $P < 0.01$ 、 $P < 0.001$, NS 表示未达到 5% 显著水平; 同一类别的同一列中数字后相同字母表示差异未达到 5% 显著水平。表 5 同。

表 4 水浇地马铃薯上不同钾肥品种和施钾时期的产量、品质和吸钾量效应

钾肥品种	施钾时期	块茎产量 (t/hm ²)		吸钾量 (K kg/hm ²)		淀粉含量 (%)		还原糖含量 (%)		商品薯率 (%)		单薯重 (g)	
		内蒙古	甘肃	内蒙古	甘肃	内蒙古	甘肃	内蒙古	甘肃	内蒙古	甘肃	内蒙古	甘肃
CK		29.7e	29.8c	127.1d	218.1c	13.1c	15.5a	1.20abc	0.47a	74.7a	56.8a	150.1c	147.5a
KCl	P ^a	32.8bcd	33.7a	175.6ab	295.8a	13.9a	15.6a	1.12bc	0.44a	77.5a	63.3a	167.6ab	156.5a
KCl	S ^b	33.1abc	32.5abc	176.8ab	273.1ab	13.3bc	15.6a	1.11bc	0.45a	77.8a	61.0a	169.0a	152.7a
KCl	T ^c	31.5d	31.6abc	173.3ab	261.4abc	13.7ab	15.4a	1.25ab	0.45a	79.3a	57.0a	160.0abc	150.5a
K ₂ SO ₄	P	33.0bcd	33.1ab	170.7abc	285.6ab	13.3bc	16.0a	1.39a	0.44a	75.9a	60.3a	161.8abc	154.5a
K ₂ SO ₄	S	32.0cd	32.6abc	165.3bc	262.6abc	13.7ab	15.5a	1.26ab	0.44a	77.6a	58.5a	161.3abc	147.0a
K ₂ SO ₄	T	31.7cd	32.1abc	156.3c	262.4abc	13.6ab	15.9a	1.24ab	0.46a	75.1a	59.3a	165.9ab	149.2a
KNO ₃	P	34.7a	32.4abc	184.6a	301.2a	13.5abc	15.4a	1.13bc	0.45a	77.6a	58.2a	163.5ab	151.5a
KNO ₃	S	34.4ab	31.5abc	177.4ab	245.8bc	13.7ab	15.4a	1.04c	0.45a	76.5a	58.0a	157.0abc	149.3a
KNO ₃	T	32.3cd	30.3bc	155.7c	241.1bc	13.3bc	15.4a	1.12bc	0.45a	76.2a	56.0a	156.3bc	148.5a

施用钾肥比不施钾肥显著增加块茎产量, 增产 5.7% ~ 16.4%, 平均增产 10.2%, 而且基施 KNO₃

块茎产量最高。但在甘肃试验点, 只有基施 KCl 和 K₂SO₄ 比不施钾肥显著增加块茎产量, 分别增

产 13.1% 和 11.3%。在内蒙古试验点，所有施钾肥处理显著增加马铃薯吸钾量，而在甘肃试验点基施钾肥显著增加马铃薯吸钾量。在内蒙古试验点，一些施钾肥处理提高了块茎淀粉含量和单薯重，没有显著影响还原糖含量和商品薯率，而在甘肃试验点，施钾肥对马铃薯品质指标影响都不显著。

多因素方差分析表明，水浇地条件下不同地点的马铃薯块茎产量、品质指标和吸钾量具有显著差异，不同钾肥品种对块茎产量、吸钾量、商品薯率、单薯重和块茎淀粉含量的影响没有显著差异，

但显著 ($P < 0.01$) 影响块茎还原糖含量 (表 5)。分组平均值比较不同钾肥品种表明，在水浇地马铃薯上施用 KCl 的块茎还原糖含量与施用 KNO_3 相当，比施用 K_2SO_4 低。

钾肥的施用时期显著影响水浇地马铃薯的产量和吸钾量 (表 5)。钾肥基施比全部追施提高水浇地马铃薯产量和吸钾量。钾肥分次施用的效果与基施和全部追施相比也没有显著差异，这一点与旱地马铃薯一致。试验地点和钾肥品种交互作用显著影响水浇地马铃薯还原糖含量，与 2 个地点使用的品种不同，含糖量不同有关。

表 5 水浇地马铃薯施用钾肥品种和施用时期效应的多因素方差分析

项目	块茎产量 (t/hm ²)	吸钾量 (K kg/hm ²)	商品薯率 (%)	单薯重 (g)	淀粉 (%)	还原糖 (%)
<i>F</i> 值显著性						
试验地点 (L)	***	***	***	***	***	***
钾肥品种 (S)	NS	NS	NS	NS	NS	**
施钾时期 (T)	*	*	NS	NS	NS	NS
L × S	NS	NS	NS	NS	NS	***
L × T	NS	NS	NS	NS	NS	NS
S × T	NS	NS	NS	NS	NS	NS
L × S × T	NS	NS	NS	NS	NS	NS
分组平均值						
试验地点						
内蒙古	32.8a	170.7b	77.1a	162.3a	13.6b	1.18a
甘肃	32.3a	266.1a	59.1b	151.1b	15.6a	0.45b
钾肥品种						
KCl	32.5a	226.0a	69.3a	159.4a	14.6a	0.80b
K_2SO_4	32.4a	217.2a	67.8a	156.6a	14.7a	0.87a
KNO_3	32.6a	212.1a	67.1a	154.4a	14.5a	0.77b
施钾时期						
播前基施	33.3a	230.0a	68.8a	159.2a	14.6a	0.83a
基追结合	32.7ab	216.8ab	68.5a	156.1a	14.5a	0.79a
全部追施	31.6b	208.4b	66.9a	155.1a	14.5a	0.83a

2.3 钾肥品种和施钾时期对钾肥农学效率的影响

钾肥品种和施肥时期显著影响 AE_K 。施用 KCl 与施用 K_2SO_4 的 AE_K 相当。在内蒙古试验点施用 KNO_3 比施用 KCl 和 K_2SO_4 的 AE_K 高，原因是施用 KNO_3 的

块茎产量高，而在甘肃试验点则施用 KNO_3 不如施用 KCl 和 K_2SO_4 的 AE_K 高。钾肥基施和分次施用比全部追施的 AE_K 高 (表 6)，这与基施下植株吸收钾肥的时间较长，吸收量较大有关。

表6 钾肥品种和施肥时期对钾的农学效率的影响 (块茎 kg/kg K₂O)

钾肥品种	施钾时期	内蒙古		甘肃	
		旱地	水浇地	旱地	水浇地
KCl	播前基施	28.7bc	18.5b	26.4a	43.3a
KCl	基追结合	24.9c	21.1b	13.4b	22.4de
KCl	全部追施	18.9d	10.2d	8.1c	20.4e
K ₂ SO ₄	播前基施	24.7c	20.8b	17.6b	37.3b
K ₂ SO ₄	基追结合	31.1b	14.2cd	16.2b	30.4c
K ₂ SO ₄	全部追施	22.7cd	11.7cd	6.2c	25.2d
KNO ₃	播前基施	41.6a	29.7a	9.2c	28.7cd
KNO ₃	基追结合	46.9a	27.6a	6.0c	24.4de
KNO ₃	全部追施	28.7bc	15.3c	0.8d	15.0f
<i>F</i> 值显著性					
钾肥品种 (S)		***	**	***	**
施钾时期 (T)		***	**	***	**
S × T		***	*	*	NS
钾肥品种					
KCl		24.2b	16.6b	16.0a	28.7a
K ₂ SO ₄		26.2b	15.6b	13.3a	31.0a
KNO ₃		39.0a	24.2a	4.6b	22.7b
施钾时期					
播前基施		31.6a	23.0a	17.7a	36.4a
基追结合		34.3a	21.0a	11.9b	25.8b
全部追施		23.4b	12.4b	4.3c	20.2c

注: *、**、*** 分别表示 $P < 0.05$ 、 $P < 0.01$ 、 $P < 0.001$, NS 表示未达到 5% 显著水平; 同一类别的同一列中数字后相同字母表示差异未达到 5% 显著水平。

3 讨论

本研究表明, 在施钾量相同的情况下不同钾肥品种对马铃薯块茎产量影响没有显著差异, 这一结果与之前许多研究结果一致^[7, 10, 20-21]。但也有不同的研究结果, 如施用 KNO₃ 比施用 KCl 的马铃薯块茎产量高^[11], 施用 K₂SO₄ 比施用 KCl 的块茎产量高^[2, 12-13, 22]。多数研究表明马铃薯施用 KCl 比施用 K₂SO₄ 效果好, 如刘汝亮等^[23] 在宁夏西吉马铃薯上研究指出, 钾用量不超过 K₂O 90 kg/hm², K₂SO₄ 与 KCl 分别增产 7.1% 和 12.0%, 分别提高淀粉含量 9.4% 和 14.5%。周芳等^[24] 研究比较马铃薯上施用 KCl 和 K₂SO₄ 的效果指出, 在当 K₂O 用量小于 270 kg/hm², 产量相当, 达 315 kg/hm² 时, K₂SO₄ 优于 KCl。郭玲玲等^[25] 研究表明, 在山西朔州马铃薯施用 KCl 增产 52.4%、商品率增 25.7%, 施用 K₂SO₄ 增产 28.6%、商品率增 14.3%。王小英等^[26] 研究指出, 灌溉条件下 5 个马铃薯品种施用 KCl 处理的产量均高于 K₂SO₄ 处理, 且产量提高

5.3% ~ 24.8%。

马铃薯品质指标对钾肥品种响应表明, 除施用 KCl 或 KNO₃ 处理块茎还原糖含量比施用 K₂SO₄ 低外, 其他块茎品质指标不受钾肥品种的影响。这一研究结果与其他研究相似, 秦鱼生等^[21] 指出, 在四川彭州马铃薯上 K₂O 用量为 150 ~ 270 kg/hm² 时, K₂SO₄ 商品薯率高, 高钾量时 KCl 降低块茎还原糖含量, 品质效果优于 K₂SO₄。周芳等^[24] 研究表明, 在降低还原糖上, K₂O 用量小于 225 kg/hm² 时, KCl 优于 K₂SO₄, 施肥量高, 则相反。王小英等^[26] 研究表明, 5 个供试品种施用 K₂SO₄ 处理后块茎的还原糖含量均高于 KCl 处理。然而, 一些研究有不同结果, Sharma 等^[27] 研究表明, KCl 对块茎淀粉含量无显著影响, 而施用 K₂SO₄ 提高淀粉含量, 施用 KCl 和 K₂SO₄ 均提高还原糖含量。Stanley 等^[6] 发现, 马铃薯块茎还原糖含量与钾肥品种和用量没有显著相关性。Bansal 等^[2] 指出, K₂SO₄ 在降低加工薯还原糖方面优于 KCl。这些不同研究结果也许与钾肥品种外的其他因素有关。马

铃薯品种和收获前后的许多因素,如成熟度、生长过程中的温度、矿质营养和灌溉、机械收获和储存条件,也影响块茎的质量如含糖量^[28]。马铃薯块茎还原糖含量对马铃薯加工企业很重要,因为马铃薯片炸制过程中会变黑,还原糖含量越低,加工薯片品质越好^[7]。

钾肥基施比全部追施提高旱地和水浇地马铃薯产量和吸钾量,这一结果可以用以前的研究结果来解释,该研究表明,尽管在块茎膨大阶段钾的吸收和积累很快,但仍有一半以上的植物钾在块茎膨大之前积累,尤其是水浇地马铃薯,其最高日吸收量出现时间比旱地马铃薯提前约2周^[29],这表明水浇地马铃薯需要更早地施用钾肥以满足需求,因此,全部追施或许不能满足马铃薯早期对钾的需求,需要部分或全部钾肥在种植前施用。马铃薯上钾肥播前基施比全部追施的块茎产量高与其他研究结果相似,基施 KNO_3 比3次施用的马铃薯块茎产量高^[11],播种前施用颗粒状 K_2SO_4 或 KCl 的块茎产量显著高于生长期施用50%~75%的钾肥处理^[30],而马铃薯上分次施用和生长季施用钾肥与播前全部基施并未增加块茎产量^[14]。

4 结论

施用钾肥提高旱地和水浇地马铃薯产量、品质和吸钾量,钾肥品种对产量、商品薯率、单薯重和淀粉含量没有显著影响,但施用 KCl 的块茎还原糖含量比施用 K_2SO_4 和 KNO_3 的低。钾肥基施或基追各半的块茎产量、吸钾量、商品薯率、 AE_k 比钾肥全部追施高。 KCl 可增加马铃薯产量,提高品质,因此在内蒙古和甘肃马铃薯生产中推荐播前基施 KCl 。

参考文献:

- [1] Panagiotopoulos L I. Fertilization of potato crops [J]. Agriculture-Cattle Breeding, 1995, 9: 227-231.
- [2] Bansal S K, Trehan S P. Effect of potassium on yield and processing quality attributes of potato [J]. Karnataka Journal Agricultural Science, 2011, 24 (1): 48-54.
- [3] 段玉,张君,张三粉,等. 内蒙古马铃薯施肥效应特征参数与施肥推荐 [J]. 中国马铃薯, 2019, 33 (2): 89-100.
- [4] Singh J P, Marwaha J S, Grewal J S. Effect of sources and levels of potassium on potato yield, quality and storage behavior [J]. Journal of Indian Potato Association, 1996, 23: 153-156.
- [5] Kavvadias V, Paschalidis C, Akrivos G, et al. Nitrogen and potassium fertilization responses of potato (*Solanum tuberosum*) cv. Spunta [J]. Communication in Soil Science and Plant Analysis, 2012, 43 (1-2): 176-189.
- [6] Stanley R, Jewell S. The influence of source and rate of potassium fertilizer on the quality of potatoes for French fry production [J]. Potato Research, 1989, 32 (4): 439-446.
- [7] Khan M Z, Akhtar M E, Mahmoodul H M, et al. Potato tuber yield and quality as affected by rates and sources of potassium fertilizer [J]. Journal of Plant Nutrition, 2012, 35 (5): 664-677.
- [8] Hütsch B W, Katrin K, Ann-Kathrin G, et al. Potato plants (*Solanum tuberosum* L.) are chloride-sensitive: is this dogma valid? [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2018, 98: 3161-3168.
- [9] Westermann D T, James D W, Tindall T A, et al. Nitrogen and potassium fertilization of potatoes: sugars and starch [J]. American Potato Journal, 1994, 71: 432-452.
- [10] Panique E, Kelling K A, Schulte E E, et al. Potassium rate and source effects on potato yield, quality, and disease interaction [J]. American Potato Journal, 1997, 74 (6): 379-398.
- [11] Mishra M K, Singh J. Effect of source, method and rate of potassium application on potato (*Kufri chandramukhi*) [J]. Journal of Potassium Research, 1994, 10 (2): 163-166.
- [12] Westermann D T, Tindall T A. Potassium fertilization of Russet Burbank potatoes [J]. Better Crops, 1998, 82 (2): 8-9.
- [13] Gunadi N. Response of potato to potassium fertilizer sources and application methods in Andisols of West Java [J]. Indonesian Journal of Agricultural Science, 2009, 10 (2): 65-72.
- [14] Mohr R M, Tomasiewicz D J. Effect of rate and timing of potassium chloride application on the yield and quality of potato (*Solanum tuberosum* L. 'Russet Burbank') [J]. Canadian Journal of Plant Science, 2012, 92 (4): 783-794.
- [15] Job A L G, Soratto R P, Fernandes A M, et al. Potassium fertilization for fresh market potato production in tropical soils [J]. Agronomy Journal, 2019, 111: 3351-3362.
- [16] Portch S, Hunter A. Modern agriculture and fertilizers [M] // PPI/PPIC China program special publication No.5. Beijing: PPI/PPIC China Project Department, 2002.
- [17] 鲍士旦. 土壤农化分析 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [18] 郭冬生, 彭小兰. 蒽酮比色法和酶水解法两种淀粉测定方法的比较研究 [J]. 湖南文理学院学报(自然科学版), 2007 (3): 34-36, 48.
- [19] 朱海霞, 石瑛, 张庆娜, 等. 3,5-二硝基水杨酸(DNS)比色法测定马铃薯还原糖含量的研究 [J]. 中国马铃薯, 2005, 19 (5): 14-17.
- [20] 邓兰生, 林翠兰, 龚林, 等. 滴施不同钾肥对马铃薯生长及产量的影响 [J]. 华南农业大学学报, 2010, 31 (2): 12-14, 27.
- [21] 秦鱼生, 涂仕华, 冯文强, 等. 不同钾肥品种及用量对马铃薯产量和品质的影响 [J]. 西南农业学报, 2010, 23 (6): 1950-1954.

- [22] Singh J, Bansal S K. Relative effect of two sources of potassium on yield and economics of potato production in an inceptisol of Western U. P. [J]. Journal of Potassium Research, 2000, 16 (1): 52-54.
- [23] 刘汝亮, 李友宏, 王芳, 等. 两种钾源对马铃薯养分累积和产量的影响 [J]. 西北农业学报, 2009, 18 (1): 143-146.
- [24] 周芳, 张振洲, 贾景丽, 等. 不同钾肥品种及用量对马铃薯产量和品质的影响 [J]. 中国马铃薯, 2013, 27 (3): 158-161.
- [25] 郭玲玲, 张雪涌. 不同钾肥对马铃薯和胡萝卜产量及商品率的影响 [J]. 山西农业科学, 2014, 42 (3): 251-253, 275.
- [26] 王小英, 陈占飞, 方玉川, 等. 氯化钾和硫酸钾对不同品种马铃薯农艺性状、产量和品质的影响 [J]. 中国瓜菜, 2021, 34 (7): 50-53.
- [27] Sharma R C, Mukhtar S, Sud K C. Relative response of the potato to three sources of potassium [J]. Indian Journal of Agronomy, 1976, 21 (4): 341-348.
- [28] Kumar D, Singh B P, Kumar P. An overview of the factors affecting sugar content of potatoes [J]. Annals of Applied Biology, 2004, 145: 247-256.
- [29] Li S T, Jin J Y. 4R Nutrient management practices for potato production in China [J]. Better Crops, 2012, 96 (1): 20-23.
- [30] Davenport J R, Bentley E M. Does potassium fertilizer form, source, and time of application influence potato yield and quality in the Columbia Basin? [J]. American Journal of Potato Research, 2001, 78 (4): 311-318.

Potato tuber yield and quality response to source and time of potassium application

LI Shu-tian^{1*}, DUAN Yu², GUO Tian-wen³, ZHANG Ping-liang³ (1. Agricultural Resources and Regional Planning, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081; 2. Institute of Resources, Environment and Sustainable Development, Inner Mongolia Academy of Agricultural & Animal Husbandry Sciences, Huhhot Inner Mongolia 010031; 3. Dryland Agriculture Institute, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou Gansu 730070)

Abstract: Field trials were conducted to study the influences of potassium (K) sources and application time on tuber yield, quality and K efficiency of rainfed and irrigated potato (*Solanum tuberosum* L.). Three K sources, i. e. potassium chloride (KCl), potassium sulfate (K_2SO_4), potassium nitrate (KNO_3), were selected and applied, respectively, at three times, i. e. totally base application, split (50% base application and 50% topdressing at flowering) and totally topdressing at flowering in the same rate of K. The control without K fertilizer was included. Results indicated K fertilization significantly increased tuber yield of rainfed and irrigated potato in Inner Mongolia site, compared with control without K, and base application or split application of KNO_3 got the highest yield, but only base application of KCl significantly increased tuber yield in Gansu site. K fertilizers also increased K uptake, improved tuber quality, compared with control without K application. Multivariate analysis of variance showed that in rainfed and irrigated conditions there was no significantly different effect on tuber yield, K uptake, commercial rate, average tuber weight and starch content between K sources, but KCl in rainfed or KNO_3 in irrigated condition resulted in lower reducing sugar content than K_2SO_4 . Application times of K significantly affected tuber yield and K uptake of rainfed and irrigated potato. Base application of K produced more tuber yield, K uptake than totally topdressing and similar results to split application. KCl resulted in similar or higher agronomic efficiency of K (AE_K) than K_2SO_4 , and KNO_3 resulted in a greater AE_K than KCl and/or K_2SO_4 mainly in Inner Mongolia site. Base application of K resulted in higher AE_K than split and/or totally topdressing. In summary, the response of potato yield and quality to KCl application was better than or equivalent to K_2SO_4 and KNO_3 . Base application of KCl could be recommended in potato production in experimental area.

Key words: potato; potassium source; application time