

# 氮钾互作对甘薯氮钾元素吸收、分配和利用的影响及与块根产量的关系

赵庆鑫<sup>1</sup>, 江燕<sup>1</sup>, 史春余<sup>1\*</sup>, 司成成<sup>1</sup>, 史文卿<sup>1</sup>, 王新建<sup>1</sup>, 柳洪鹃<sup>1</sup>, 史衍玺<sup>2</sup>

<sup>1</sup>山东农业大学农学院/作物生物学国家重点实验室, 山东泰安271018; <sup>2</sup>青岛农业大学资源与环境学院, 山东青岛266109

**摘要:** 选取淀粉型甘薯(*Ipomoea batatas*)品种‘济徐23’为试验材料, 于2013~2014年在山东农业大学农学试验站进行大田试验, 采用二因素裂区设计, 主区为不同氮肥水平, 副区为不同钾肥水平, 研究氮钾互作对甘薯氮钾元素吸收、分配和利用的影响及其与块根产量的关系。结果表明, 不施用氮肥时的最佳施钾肥量是180 kg·hm<sup>-2</sup>, 其氮钾元素利用效率最高、块根产量较高; 施氮量为90 kg·hm<sup>-2</sup>时, 施钾肥量至少应该达到360 kg·hm<sup>-2</sup>, 其地上部氮钾元素转运率、在块根中分配率和块根产量最高。在适量施氮条件下, 获得甘薯高产的关键是促进地上部氮钾元素向块根转运, 提高收获期在块根中的分配率。

**关键词:** 甘薯; 氮钾; 吸收; 转运分配; 产量

氮、钾是作物生长发育必需的矿质营养元素 (Przulj和Momcilovic 2001; Martre等2003; Kichey等2007; Haefele等2008), 也与甘薯(*Ipomoea batatas*)的生长发育和产量形成密切相关(史春余等2002; 璐阳等2014; 陈晓光等2015; 宁运旺等2015)。已有研究表明, 随着施氮量的增加, 甘薯的氮肥偏生产力降低, 表观利用率升高, 而农学利用率和生理利用率呈先增加后下降趋势; 适量施氮显著增加了甘薯块根产量, 过量施氮则产量降低(温涛2012)。施用钾肥可以提高甘薯的钾素表观利用率和农学利用率, 显著提高块根的产量(王汝娟等2008); 但钾肥用量过高, 增产幅度下降(尹子娟等2011; 梁金平2013; 李韦柳等2015)。

氮钾肥料配合施用可以显著提高甘薯块根产量(贾赵东等2012; 后猛等2015)。进一步的研究表明, 叶片中氮钾含量保持一个合适的比例对甘薯获得高产是必要的, 当施氮水平较低, 甘薯叶片含氮量显著低于适宜水平时, 施钾越多越不利于甘薯产量提高(宁运旺等2013)。吕长文等(2012)通过研究不同类型甘薯品种氮、钾积累分配及其与产量的关系, 认为甘薯块根对氮素和钾素的吸收利用具有相互促进的作用。但是, 氮钾互作条件下甘薯对氮钾元素的吸收、分配和利用及其与块根产量关系的研究尚少。本研究通过设置氮肥和钾肥的二因素裂区试验, 分析不同氮钾养分配比条件下甘薯对氮、钾元素的吸收利用特点, 阐明氮钾元素吸收、分配和利用与块根产量之间的关系, 为甘薯生产中的合理施肥提供理论依据。

## 材料与amp;方法

### 1 试验材料

选用当前主要推广甘薯[*Ipomoea batatas* (L.)

Lam.]品种‘济徐23’为试验材料。

### 2 试验设计

试验于2013~2014年在山东农业大学农学试验站进行。供试土壤为砂壤土, 2013年0~20 cm土层含碱解氮为73.76 mg·kg<sup>-1</sup>、速效磷15.82 mg·kg<sup>-1</sup>、速效钾77.14 mg·kg<sup>-1</sup>、有机质1.48%; 2014年0~20 cm土层含碱解氮77.89 mg·kg<sup>-1</sup>、速效磷16.09 mg·kg<sup>-1</sup>、速效钾88.72 mg·kg<sup>-1</sup>、有机质1.31%。

本试验为大田试验, 采用二因素裂区设计, 主区为氮肥处理, 设3个水平; 副区为钾肥处理, 设3个水平, 氮、钾用量见表1, 磷肥(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)施用量90 kg·hm<sup>-2</sup>。供试肥料为尿素(含N 46%)、硫酸钾(含K<sub>2</sub>O 50%)、过磷酸钙(含P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 16%), 所有肥料均基施。行距80 cm, 株距25 cm, 小区面积为16 m<sup>2</sup>, 5行区, 行长4 m。3个重复, 其中1个取样区、2个测产区。2013年5月25日定植, 10月19日收获; 2014年5月9日定植, 10月22日收获。

表1 试验处理

Table 1 Experimental treatments

氮肥用量/kg·hm <sup>-2</sup>	钾肥用量/kg·hm <sup>-2</sup>		
	0 (K <sub>0</sub> )	180 (K <sub>1</sub> )	360 (K <sub>2</sub> )
0 (N <sub>0</sub> )	N <sub>0</sub> K <sub>0</sub>	N <sub>0</sub> K <sub>1</sub>	N <sub>0</sub> K <sub>2</sub>
90 (N <sub>1</sub> )	N <sub>1</sub> K <sub>0</sub>	N <sub>1</sub> K <sub>1</sub>	N <sub>1</sub> K <sub>2</sub>
180 (N <sub>2</sub> )	N <sub>2</sub> K <sub>0</sub>	N <sub>2</sub> K <sub>1</sub>	N <sub>2</sub> K <sub>2</sub>

收稿 2017-02-16 修定 2017-04-05

资助 国家自然科学基金(31371577)、山东省薯类产业创新团队首席专家项目(SDAIT-16-022-01)和山东省自然科学基金青年基金(ZR2014CQ040)。

\* 通讯作者(E-mail: scyu@sdau.edu.cn)。

### 3 测定项目和方法

分别在栽后45、65、85、105、125、145和165 d, 每个小区取5棵有代表性的植株, 将植株分为根、茎、叶柄、叶片四部分, 每一部分称取鲜重, 鲜样经杀青(105°C)、烘干(60°C)称重, 干样粉碎用于测定氮钾含量。干样用H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>消煮, 凯氏定氮法测定含氮量, 火焰光度计法测定含钾量。收获期测定每个小区每行的薯块数和鲜薯重。

氮(钾)素利用效率(kg·kg<sup>-1</sup>)=收获期块根干物质积累量/总吸氮(钾)量。

氮(钾)肥表观利用率(%)=[施氮(钾)肥区吸氮(钾)量-不施氮(钾)肥区吸氮(钾)量]/施氮(钾)肥量×100%。

氮(钾)元素转运量(kg·hm<sup>-2</sup>)=单位面积氮(钾)元素最大积累量-收获期单位面积氮(钾)元素滞留量。在本试验中, 栽植后145 d地上部单位面积氮(钾)元素积累量最大。

氮(钾)元素转运率(%)=氮(钾)元素转运量/氮(钾)元素最大积累量×100%。

块根氮(钾)元素分配率(%)=收获期块根氮(钾)元素积累量/植株该元素总积累量×100%。

### 4 数据分析

采用Excel 2007和Data Processing System (DPS) v 7.05数据处理系统对数据进行分析及绘制图表。

## 实验结果

### 1 氮钾互作对氮素吸收、分配和利用的影响

#### 1.1 氮肥吸收和氮素利用

由表2可以看出, N<sub>2</sub>处理的平均氮肥表观利用率(N recovery efficiency)高于N<sub>1</sub>处理。N<sub>1</sub>、N<sub>2</sub>水平下, 氮肥表观利用率随施钾量提高显著增加。可见, 施用钾肥有利于提高甘薯对氮肥的吸收利用。

由表2还可以看出, 收获期植株的平均氮素积累量随施氮量的提高而增加。N<sub>0</sub>水平下, 氮素积累量随施钾量提高呈先增加后降低的趋势, N<sub>0</sub>K<sub>1</sub>最高; N<sub>1</sub>、N<sub>2</sub>水平下, 氮素积累量随施钾量提高而增加, 且N<sub>2</sub>K<sub>2</sub>显著高于N<sub>1</sub>K<sub>2</sub>。氮素利用效率(N utilization efficiency)随施氮量提高而降低。N<sub>0</sub>水平下, 氮素利用效率随施钾量提高呈先增加后降低趋势, N<sub>0</sub>K<sub>1</sub>最高; N<sub>1</sub>、N<sub>2</sub>水平下, 氮素利用效率随施钾量增加而提高, N<sub>1</sub>K<sub>2</sub>显著高于N<sub>2</sub>K<sub>2</sub>、但低于N<sub>0</sub>K<sub>1</sub>处理。

#### 1.2 地上部氮素转运及收获期氮素分配

不同施氮水平之间比较, 地上部的氮素转运量和转运率均为N<sub>1</sub>>N<sub>0</sub>>N<sub>2</sub>(表3)。N<sub>0</sub>水平下, 随施钾量增加地上部氮素转运量和转运率呈先升高后降低的趋势, N<sub>0</sub>K<sub>1</sub>最高。N<sub>1</sub>、N<sub>2</sub>水平下, 随施钾量增加地上部氮素转运量和转运率增加; N<sub>1</sub>K<sub>2</sub>不仅显著高于N<sub>2</sub>K<sub>2</sub>, 还略高于N<sub>0</sub>K<sub>1</sub>。

表2 甘薯收获期氮素吸收利用及氮肥表观利用率(2014年)

Table 2 N uptake and absorption efficiency in harvest of sweetpotato (2014)

施氮量	施钾量	氮素积累量/kg·hm <sup>-2</sup>	氮素利用效率/kg·kg <sup>-1</sup>	氮肥表观利用率/%
N <sub>0</sub>	K <sub>0</sub>	158.37 <sup>d</sup>	64.18 <sup>bc</sup>	—
	K <sub>1</sub>	199.35 <sup>c</sup>	78.41 <sup>a</sup>	—
	K <sub>2</sub>	189.09 <sup>c</sup>	67.84 <sup>b</sup>	—
	平均值	182.27	70.15	—
N <sub>1</sub>	K <sub>0</sub>	198.47 <sup>c</sup>	60.28 <sup>c</sup>	44.55 <sup>d</sup>
	K <sub>1</sub>	258.43 <sup>bc</sup>	63.92 <sup>c</sup>	65.65 <sup>c</sup>
	K <sub>2</sub>	270.65 <sup>b</sup>	72.19 <sup>ab</sup>	90.62 <sup>a</sup>
	平均值	242.52	65.46	66.94
N <sub>2</sub>	K <sub>0</sub>	272.90 <sup>b</sup>	52.79 <sup>e</sup>	63.63 <sup>c</sup>
	K <sub>1</sub>	324.38 <sup>a</sup>	56.42 <sup>de</sup>	69.46 <sup>c</sup>
	K <sub>2</sub>	329.83 <sup>a</sup>	58.81 <sup>cd</sup>	78.19 <sup>b</sup>
	平均值	309.04	56.01	70.43
F值	N	336.09 <sup>**</sup>	42.33 <sup>**</sup>	27.43 <sup>**</sup>
	K	67.85 <sup>**</sup>	9.87 <sup>**</sup>	14.14 <sup>**</sup>
	N×K	7.75 <sup>**</sup>	4.72 <sup>**</sup>	6.85 <sup>**</sup>

同列数据用不同小写字母标识表示差异显著(P<0.05); F值是均方的比值, F值越大说明处理之间效果越明显, “\*\*\*”标识的同列数据间差异极显著(P<0.01)。表3~6同。

表3 甘薯地上部氮素转运及收获期氮素分配(2014年)

Table 3 N translocation in overground part and proportion of N accumulation at harvest of sweetpotato (2014)

施氮量	施钾量	地上部氮素		收获期氮素分配比例	
		转运量/kg·hm <sup>-2</sup>	转运率/%	地上部/%	块根/%
N <sub>0</sub>	K <sub>0</sub>	42.37 <sup>d</sup>	20.70 <sup>b</sup>	47.61 <sup>b</sup>	52.39 <sup>cd</sup>
	K <sub>1</sub>	54.95 <sup>c</sup>	27.67 <sup>ab</sup>	40.45 <sup>d</sup>	59.55 <sup>ab</sup>
	K <sub>2</sub>	40.86 <sup>d</sup>	14.36 <sup>cd</sup>	44.75 <sup>c</sup>	55.25 <sup>bc</sup>
	平均值	48.39	20.91	44.27	55.73
N <sub>1</sub>	K <sub>0</sub>	36.65 <sup>e</sup>	12.38 <sup>d</sup>	46.20 <sup>bc</sup>	53.80 <sup>c</sup>
	K <sub>1</sub>	96.38 <sup>b</sup>	26.68 <sup>ab</sup>	45.51 <sup>c</sup>	54.49 <sup>c</sup>
	K <sub>2</sub>	118.58 <sup>a</sup>	30.57 <sup>a</sup>	36.89 <sup>c</sup>	63.11 <sup>a</sup>
	平均值	83.87	23.21	42.86	57.13
N <sub>2</sub>	K <sub>0</sub>	21.60 <sup>f</sup>	5.03 <sup>e</sup>	51.93 <sup>a</sup>	48.07 <sup>d</sup>
	K <sub>1</sub>	44.64 <sup>d</sup>	17.41 <sup>c</sup>	46.08 <sup>bc</sup>	53.92 <sup>c</sup>
	K <sub>2</sub>	55.38 <sup>c</sup>	17.69 <sup>c</sup>	44.51 <sup>c</sup>	55.49 <sup>bc</sup>
	平均值	40.54	13.38	47.50	52.49
F值	N	37.81 <sup>**</sup>	16.56 <sup>**</sup>	14.46 <sup>**</sup>	15.66 <sup>**</sup>
	K	31.97 <sup>**</sup>	25.73 <sup>**</sup>	35.54 <sup>**</sup>	31.07 <sup>**</sup>
	N×K	14.06 <sup>**</sup>	11.14 <sup>**</sup>	7.83 <sup>**</sup>	9.94 <sup>**</sup>

不同施氮水平之间比较, 收获期氮素在块根中的分配率为N<sub>1</sub>最高, N<sub>0</sub>次之, N<sub>2</sub>最低(表3)。N<sub>0</sub>水平下, 随施钾量增加块根氮素分配率先升高后降低, N<sub>0</sub>K<sub>1</sub>最高。N<sub>1</sub>、N<sub>2</sub>水平下, 随施钾量增加块根氮素分配率随之升高; N<sub>1</sub>K<sub>2</sub>不仅显著高于N<sub>2</sub>K<sub>2</sub>, 还略高于N<sub>0</sub>K<sub>1</sub>。

## 2 氮钾互作对钾素吸收、分配和利用的影响

### 2.1 钾肥吸收和钾素利用

由表4可以看出, 钾肥表观利用率(K recovery efficiency)随施氮量增加呈先升高后降低的趋势,

即适量施氮提高了钾肥表观利用率。N<sub>0</sub>水平下, 施钾量增加, 钾肥表观利用率降低; N<sub>1</sub>、N<sub>2</sub>水平下, 随施钾量的增加, 钾素表观利用率升高, 且N<sub>1</sub>K<sub>2</sub>显著高于N<sub>2</sub>K<sub>2</sub>。

由表4还可以看出, 不同施氮水平之间比较, 收获期植株的钾素积累量随施氮量的提高而增加。N<sub>0</sub>水平下, 钾素积累量随施钾量提高呈先增加后降低的趋势, N<sub>0</sub>K<sub>1</sub>最高; N<sub>1</sub>、N<sub>2</sub>水平下, 钾素积累量随施钾量提高而增加, 且N<sub>1</sub>K<sub>2</sub>显著高于

表4 甘薯收获期钾素吸收利用及钾肥表观利用率(2014年)

Table 4 K uptake and absorption efficiency in harvest of sweetpotato (2014)

施氮量	施钾量	钾素积累量/kg·hm <sup>-2</sup>	钾素利用效率/kg·kg <sup>-1</sup>	钾肥表观利用率/%
N <sub>0</sub>	K <sub>0</sub>	152.43 <sup>g</sup>	59.29 <sup>d</sup>	—
	K <sub>1</sub>	231.14 <sup>e</sup>	74.50 <sup>a</sup>	43.73 <sup>a</sup>
	K <sub>2</sub>	215.73 <sup>ef</sup>	67.45 <sup>b</sup>	17.58 <sup>c</sup>
	平均值	199.77	67.08	30.66
N <sub>1</sub>	K <sub>0</sub>	217.29 <sup>ef</sup>	58.64 <sup>d</sup>	—
	K <sub>1</sub>	289.37 <sup>cd</sup>	61.38 <sup>cd</sup>	40.04 <sup>ab</sup>
	K <sub>2</sub>	376.27 <sup>a</sup>	71.86 <sup>ab</sup>	44.16 <sup>a</sup>
	平均值	294.31	63.96	42.10
N <sub>2</sub>	K <sub>0</sub>	268.60 <sup>d</sup>	54.25 <sup>e</sup>	—
	K <sub>1</sub>	303.91 <sup>c</sup>	56.02 <sup>de</sup>	19.62 <sup>c</sup>
	K <sub>2</sub>	355.08 <sup>b</sup>	62.24 <sup>c</sup>	24.02 <sup>b</sup>
	平均值	309.20	57.50	21.82
F值	N	221.38 <sup>**</sup>	31.50 <sup>**</sup>	28.34 <sup>**</sup>
	K	140.12 <sup>**</sup>	14.01 <sup>**</sup>	8.96 <sup>**</sup>
	N×K	11.01 <sup>**</sup>	4.65 <sup>**</sup>	14.85 <sup>**</sup>

$N_2K_2$ 。钾素利用效率(K utilization efficiency)随施氮量增加而下降。 $N_0$ 水平下, 随施钾量的增加, 钾素利用效率先升高后降低,  $N_0K_1$ 最高;  $N_1$ 、 $N_2$ 水平下, 随施钾量的增加, 钾素利用效率逐渐升高,  $N_1K_2$ 显著高于 $N_2K_2$ , 但低于 $N_0K_1$ 处理。

## 2.2 地上部钾素转运及收获期钾素分配

由表5可知, 随着施氮量增加, 地上部钾素转运量和转运率均呈先升高后降低的趋势,  $N_1$ 最高。 $N_0$ 水平下, 随施钾量提高地上部钾素转运量和转

运率呈先升高后降低的趋势,  $N_0K_1$ 最高;  $N_1$ 、 $N_2$ 水平下, 随施钾量增加地上部钾素转运量和转运率随之增加。 $N_1K_2$ 处理的钾素转运量和转运率不但显著高于 $N_2K_2$ , 还略高于 $N_0K_1$ 。

由表5还可以看出, 不同施氮水平之间比较, 收获期钾素在块根中的分配率,  $N_0$ 和 $N_1$ 相似,  $N_2$ 最低。 $N_0$ 水平下, 随施钾量增加钾素分配率逐渐降低;  $N_1$ 、 $N_2$ 水平下, 随施钾量增加钾素分配率逐渐升高, 且 $N_1K_2$ 显著高于 $N_2K_2$ 。

表5 甘薯地上部钾素转运及收获期钾素分配(2014年)

Table 5 K translocation in overground part and proportion of K accumulation at harvest of sweetpotato (2014)

施氮量	施钾量	地上部钾素		收获期钾素分配比例	
		转运量/kg·hm <sup>-2</sup>	转运率/%	地上部/%	块根/%
$N_0$	$K_0$	7.63 <sup>c</sup>	9.32 <sup>cd</sup>	16.32 <sup>c</sup>	83.68 <sup>a</sup>
	$K_1$	32.03 <sup>b</sup>	23.95 <sup>ab</sup>	22.03 <sup>d</sup>	77.97 <sup>ab</sup>
	$K_2$	21.78 <sup>c</sup>	12.74 <sup>c</sup>	30.13 <sup>c</sup>	69.87 <sup>c</sup>
	平均值	20.48	15.33	22.83	77.17
$N_1$	$K_0$	16.13 <sup>d</sup>	13.94 <sup>c</sup>	23.51 <sup>d</sup>	76.49 <sup>b</sup>
	$K_1$	34.72 <sup>b</sup>	20.90 <sup>b</sup>	21.91 <sup>de</sup>	78.09 <sup>ab</sup>
	$K_2$	43.84 <sup>a</sup>	27.06 <sup>a</sup>	20.20 <sup>de</sup>	79.80 <sup>ab</sup>
	平均值	31.56	20.64	21.87	78.13
$N_2$	$K_0$	6.66 <sup>e</sup>	2.78 <sup>e</sup>	44.38 <sup>a</sup>	55.62 <sup>e</sup>
	$K_1$	15.40 <sup>d</sup>	8.07 <sup>d</sup>	41.75 <sup>ab</sup>	58.25 <sup>d</sup>
	$K_2$	17.59 <sup>d</sup>	8.94 <sup>cd</sup>	36.46 <sup>b</sup>	63.54 <sup>cd</sup>
	平均值	13.22	6.59	40.86	59.14
F值	N	469.20**	167.30**	28.07**	34.52**
	K	124.94**	22.34**	95.42**	178.84**
	N×K	18.12**	6.89**	10.42**	23.65**

## 3 氮钾互作对甘薯块根产量及其构成因素的影响

2013~2014年的产量结果(表6)显示, 随施氮量提高, 块根产量呈先增加后降低的趋势。 $N_0$ 水平下, 随施钾量提高产量逐渐增加, 但 $N_0K_1$ 、 $N_0K_2$ 差异不显著。 $N_1$ 和 $N_2$ 水平下, 随施钾量提高产量逐渐增加,  $N_1K_2$ 处理的块根产量最高;  $N_2K_2$ 处理的块根产量不但低于 $N_1K_2$ 处理, 也低于 $N_0K_1$ 处理。

两年结果显示, 随施氮量增加, 单株结薯数逐渐降低。 $N_0$ 水平下, 随施钾量增加, 单株结薯数呈先增加后降低的趋势,  $N_0K_1$ 最高。 $N_1$ 和 $N_2$ 水平下, 随施钾量增加, 单株结薯数逐渐增加;  $N_1K_2$ 处理高于 $N_2K_2$ 处理, 但是低于 $N_0K_1$ 处理。随施氮量提高, 单薯重有增加趋势。各氮肥水平下, 随施钾量增加, 单薯重逐渐增加。

## 讨 论

### 1 施氮量与甘薯氮钾元素吸收利用

不施用氮肥时, 甘薯吸收积累的氮钾最少; 但是, 氮钾利用效率最高, 钾肥表观利用率、地上部氮钾转运率、氮钾在块根中的分配率和块根产量较高。在过量施氮条件下, 虽然甘薯吸收积累的氮钾最多, 氮肥表观利用率最高, 但是, 钾肥表观利用率、地上部氮钾转运率、氮钾在块根中的分配率和块根产量最低。施用适量氮肥时, 甘薯吸收积累的氮钾较多, 氮钾利用效率较高; 地上部氮钾转运率、氮钾在块根中的分配率和块根产量最高。其中的氮肥表观利用率、块根产量等结果与温涛(2012)的研究结果一致; 此外, 本研究认为过量施氮导致地上部氮钾转运率和氮钾在块根中的

表6 氮钾互作对甘薯块根产量的影响

Table 6 N-K interaction effect on storage root yield of sweetpotato

施氮量	施钾量	产量/t·hm <sup>-2</sup>		结薯数/个·株 <sup>-1</sup>		单薯重/g	
		2013年	2014年	2013年	2014年	2013年	2014年
N <sub>0</sub>	K <sub>0</sub>	26.09 <sup>e</sup>	34.29 <sup>cd</sup>	3.08 <sup>b</sup>	3.49 <sup>ab</sup>	165.85 <sup>f</sup>	205.91 <sup>e</sup>
	K <sub>1</sub>	34.35 <sup>b</sup>	37.21 <sup>b</sup>	3.33 <sup>a</sup>	3.57 <sup>a</sup>	185.81 <sup>d</sup>	212.35 <sup>d</sup>
	K <sub>2</sub>	34.93 <sup>b</sup>	37.64 <sup>b</sup>	3.28 <sup>ab</sup>	3.49 <sup>ab</sup>	219.11 <sup>bc</sup>	223.08 <sup>c</sup>
	平均值	31.79	36.38	3.23	3.55	190.26	213.78
N <sub>1</sub>	K <sub>0</sub>	28.41 <sup>d</sup>	33.45 <sup>cd</sup>	2.88 <sup>c</sup>	2.96 <sup>d</sup>	205.39 <sup>e</sup>	225.36 <sup>c</sup>
	K <sub>1</sub>	35.04 <sup>b</sup>	37.55 <sup>b</sup>	3.01 <sup>bc</sup>	3.05 <sup>c</sup>	230.28 <sup>ab</sup>	233.38 <sup>bc</sup>
	K <sub>2</sub>	38.62 <sup>a</sup>	39.88 <sup>a</sup>	3.18 <sup>ab</sup>	3.24 <sup>b</sup>	234.32 <sup>a</sup>	238.24 <sup>b</sup>
	平均值	34.02	36.96	3.02	3.08	223.33	232.33
N <sub>2</sub>	K <sub>0</sub>	25.35 <sup>f</sup>	30.62 <sup>e</sup>	2.87 <sup>c</sup>	2.52 <sup>e</sup>	176.79 <sup>e</sup>	224.08 <sup>c</sup>
	K <sub>1</sub>	26.03 <sup>e</sup>	32.60 <sup>d</sup>	2.89 <sup>c</sup>	2.53 <sup>e</sup>	192.90 <sup>cd</sup>	233.01 <sup>bc</sup>
	K <sub>2</sub>	32.56 <sup>c</sup>	35.82 <sup>c</sup>	3.06 <sup>b</sup>	2.56 <sup>e</sup>	225.95 <sup>b</sup>	244.49 <sup>a</sup>
	平均值	27.98	33.02	2.94	2.67	198.55	233.86
F值	N	7.58 <sup>**</sup>	106.49 <sup>**</sup>	9.68 <sup>**</sup>	58.36 <sup>**</sup>	18.66 <sup>**</sup>	87.52 <sup>**</sup>
	K	61.18 <sup>**</sup>	120.34 <sup>**</sup>	28.14 <sup>**</sup>	24.35 <sup>**</sup>	12.18 <sup>**</sup>	47.63 <sup>**</sup>
	N×K	152.03 <sup>**</sup>	17.44 <sup>**</sup>	45.32 <sup>**</sup>	16.88 <sup>**</sup>	8.36 <sup>**</sup>	12.75 <sup>**</sup>

分配率降低是块根产量下降的原因之一。

## 2 氮钾肥料互作与甘薯氮钾元素吸收利用

吕长文等(2012)认为甘薯块根对氮素和钾素的吸收利用具有相互促进的作用。本研究证实了上述研究结果,同时发现不同氮肥水平条件下,钾肥对甘薯氮钾元素吸收利用情况存在差异。不施用氮肥时,氮钾元素的积累量、利用效率和地上部转运率在K<sub>1</sub>水平下即达到最高,氮素在块根中的分配率和钾肥表观利用率也是在K<sub>1</sub>水平下即达到最高。在适量施氮和过量施氮条件下,氮钾肥料表观利用率、氮钾元素的积累量、地上部转运率和利用效率都是K<sub>2</sub>处理最高。因此,依据土壤氮素水平确定钾肥施用量是提高地上部氮钾转运率和利用效率的一种有效手段,也有利于提高氮素在块根中分配率和钾肥表观利用率。

本研究还发现,甘薯地上部氮钾元素转运率和收获期在块根中的分配率, N<sub>1</sub>K<sub>2</sub>处理不仅显著高于N<sub>2</sub>K<sub>2</sub>处理,还略高于N<sub>0</sub>K<sub>1</sub>处理;而氮钾元素利用效率, N<sub>1</sub>K<sub>2</sub>处理显著高于N<sub>2</sub>K<sub>2</sub>处理,但低于N<sub>0</sub>K<sub>1</sub>处理,说明氮钾肥料互作对地上部氮钾元素转运率和收获期在块根中分配率的影响与对氮钾元素利用效率的影响存在差异。

## 3 甘薯块根产量与氮钾元素吸收利用的关系

叶片中氮钾含量保持一个合适的比例对甘薯

获得高产是必要的,当施氮水平较低,甘薯叶片含氮量显著低于适宜水平时,施钾越多越不利于甘薯产量提高(宁运旺等2013)。本研究结果表明,不施用氮肥时,施钾量为180 kg·hm<sup>-2</sup>时块根产量已达最高。在适量施氮和过量施氮条件下,施钾量为360 kg·hm<sup>-2</sup>时块根产量最高;其中, N<sub>1</sub>K<sub>2</sub>处理的块根产量不但显著高于N<sub>2</sub>K<sub>2</sub>处理,也显著高于N<sub>0</sub>K<sub>1</sub>处理,这与甘薯地上部氮钾元素转运率和收获期在块根中分配率的变化规律基本一致。因此,在适量施氮条件下,获得甘薯高产的关键是促进地上部氮钾元素向块根转运、提高收获期在块根中的分配率。

## 参考文献

- Chen XG, Ding YF, Tang ZH, Wei M, Shi XM, Zhang AJ, Li HM (2015). Suitable nitrogen rate for storage root yield and quality of sweet potato. *J Plant Nutr Fert*, 21 (4): 979-986 (in Chinese with English abstract) [陈晓光, 丁艳锋, 唐忠厚, 魏猛, 史新敏, 张爱君, 李洪民(2015). 氮肥施用量对甘薯产量和品质性状的影响. *植物营养与肥料学报*, 21 (4): 979-986]
- Haefele SM, Jabbar SMA, Siopongco JDLC, Tirol-Padre A, Amarante ST, Sta Cruz PC, Cosico WC (2008). Nitrogen use efficiency in selected rice (*Oryza sativa* L.) genotypes under different water regimes and nitrogen levels. *Field Crop Res*, 107: 137-146
- Hou M, Liu YJ, Wang X, Tang W, Yan H, Ma DF, Zhang YQ, Li Q (2015). Effects of nitrogen application combined with potassium on yield and quality of edible sweetpotato. *Southwest China Agr Sci*, 28 (1): 260-264 (in Chinese with English abstract) [后猛,

- 刘亚菊, 王欣, 唐维, 闫会, 马代夫, 张允刚, 李强(2015). 氮钾配施对食用甘薯产量和品质的影响. 西南农业学报, 28 (1): 260–264]
- Jia ZD, Ma PY, Bian XF, Guo XD, Xie YZ (2012). The effects of different N and K fertilizer ratio and planting density on yield and dry matter accumulation of sweetpotato. *Acta Agr Boreal-Sin*, 27 (S1): 320–327 (in Chinese with English abstract) [贾赵东, 马佩勇, 边小峰, 郭小丁, 谢一芝(2012). 氮钾配施和栽插密度对甘薯干物质积累及产量形成的影响. 华北农学报, 27 (S1): 320–327]
- Kichey T, Hirel B, Heumez E, Dubois F, Le Gouis J (2007). In winter wheat (*Triticum aestivum* L.), post anthesis nitrogen uptake and remobilisation to the grain correlates with agronomic traits and nitrogen physiological markers. *Field Crop Res*, 102: 22–32
- Li WL, Xiong J, Tang XH, Yan HF, Zheng X, Wei MZ, Tan WZ, Xu J (2015). Effects of potassium application rate on yield formation and potassium utilization efficiency of starchy sweet potato variety Xushu26. *Chin J Trop Crops*, 36 (6): 1037–1042 (in Chinese with English abstract) [李韦柳, 熊军, 唐秀桦, 闫海锋, 郑虚, 韦民政, 覃维治, 许娟(2015). 施钾量对淀粉型甘薯徐薯26产量形成及钾利用的影响. 热带作物学报, 36 (6): 1037–1042]
- Liang JP (2013). Effect of potassium fertilizing on yield of summer sweet potato variety Longshu24. *J South Agr*, 44 (9): 1488–1493 (in Chinese with English abstract) [梁金平(2013). 不同钾肥施用量对夏甘薯龙薯24号生长及产量的影响. 南方农业学报, 44 (9): 1488–1493]
- Lu Y, Fang ZG, Shi YX (2014). Effects of nitrogen application on yield, quality and nitrogen utilization of fresh-eating sweet potato. *Acta Agr Boreal-Sin*, 29 (6): 189–194 (in Chinese with English abstract) [璐阳, 房增国, 史衍玺(2014). 施氮量对鲜食型甘薯产量、品质及氮素利用的影响. 华北农学报, 29 (6): 189–194]
- Lv CW, Zhao Y, Tang DB, Wang JC, He FF, Zhang K (2012). Accumulation and translocation of nitrogen and potassium and their relationships with yield traits for different type cultivars of sweet potato. *Plant Nutr Fert Sci*, 18 (2): 219–226 (in Chinese with English abstract) [吕长文, 赵勇, 唐道彬, 王季春, 何凤发, 张凯(2012). 不同类型甘薯品种氮、钾积累分配及其与产量性状的关系. 植物营养与肥料学报, 18 (2): 219–226]
- Martre P, Porter JR, Jamieson PD, Triboi E (2003). Modeling grain nitrogen accumulation and protein composition to understand the sink/source regulations of nitrogen remobilization for wheat. *Plant Physiol*, 133: 1959–1967
- Ning YW, Ma HB, Xu XJ, Wang JD, Zhang H, Xu JP, Chen J, Zhang YC (2013). Effects of deficiency of N, P, or K on growth traits and nutrient uptakes of sweetpotato at early growing stage. *Sci Agr Sin*, 46 (3): 486–495 (in Chinese with English abstract) [宁运旺, 马洪波, 许仙菊, 汪吉东, 张辉, 许建平, 陈杰, 张永春(2013). 氮磷钾缺乏对甘薯前期生长和养分吸收的影响. 中国农业科学, 46 (3): 486–495]
- Ning YW, Ma HB, Zhang H, Wang JD, Xu XJ, Zhang YC (2015). Response of sweetpotato in source-sink relationship establishment, expanding, and balance to nitrogen application rates. *Acta Agron Sin*, 41 (3): 432–439 (in Chinese with English abstract) [宁运旺, 马洪波, 张辉, 汪吉东, 许仙菊, 张永春(2015). 甘薯源库关系建立、发展和平衡对氮肥用量的响应. 作物学报, 41 (3): 432–439]
- Przulj N, Momcilovic V (2001). Genetic variation for dry matter and nitrogen accumulation and translocation in two-rowed spring barley: I. Dry matter translocation. *Eur J Agron*, 15: 255–265
- Shi CY, Wang ZL, Zhao BQ, Guo FF, Yu SL (2002). Effect of potassium nutrition on some physiological characteristics and yield formation of sweet potato. *Plant Nutr Fert Sci*, 8 (1): 81–85 (in Chinese with English abstract) [史春余, 王振林, 赵秉强, 郭风法, 余松烈(2002). 钾营养对甘薯某些生理特性和产量形成的影响. 植物营养与肥料学报, 8 (1): 81–85]
- Wang RJ, Wang ZL, Liang TB, Zhang XD, Liu LL, Shi CY (2008). Effects of HA-K fertilizers on the absorption and utilization of potassium and the storage root yield in sweet potato for table use. *Plant Nutr Fert Sci*, 14 (3): 118–124 (in Chinese with English abstract) [王汝娟, 王振林, 梁太波, 张晓冬, 刘兰兰, 史春余(2008). 腐植酸钾对食用甘薯品种钾吸收、利用和块根产量的影响. 植物营养与肥料学报, 14 (3): 118–124]
- Wen T (2012). Characteristics of nitrogen utilization and nitrogen diagnosis in sweet potato (Master's thesis). Changchun: Jilin Agricultural University (in Chinese with English abstract) [温涛(2012). 甘薯氮素利用特性及其营养诊断方法的研究(硕士论文). 长春: 吉林农业大学]
- Yin ZJ, Guo HC, Li CZ (2011). Application of potassium on the growth, yield and quality of sweet potato. *Yunnan Agr Sci Technol*, (4): 21–23 (in Chinese with English abstract) [尹子娟, 郭华春, 李存芝(2011). 施钾对甘薯生长、产量及品质的影响. 云南农业科技, (4): 21–23]

## Effect of nitrogen-potassium interaction on absorption and translocation of nitrogen and potassium in sweetpotato and the root yield

ZHAO Qing-Xin<sup>1</sup>, JIANG Yan<sup>1</sup>, SHI Chun-Yu<sup>1\*</sup>, SI Cheng-Cheng<sup>1</sup>, SHI Wen-Qing<sup>1</sup>, WANG Xin-Jian<sup>1</sup>, LIU Hong-Juan<sup>1</sup>, SHI Yan-Xi<sup>2</sup>  
<sup>1</sup>State Key Laboratory of Crop Biology / College of Agronomic Science, Shandong Agricultural University, Tai'an, Shandong 271018, China; <sup>2</sup>College of Resources and Environmental Science, Qingdao Agricultural University, Qingdao, Shandong 266109, China

**Abstract:** A field experiment was conducted at agricultural experiment station of Shandong Agricultural University, Tai'an, Shandong Province in 2013–2014. Split plot design with two factors, three nitrogen (N) levels and three potassium (K) levels. Selected material of the 'Ji Xu 23', starch sweetpotato variety, to study N-K interaction on absorption, transfer and distribution of N/K in sweetpotato and its relationship with storage root yield. The results show that the best amount of K fertilizer was 180 kg·hm<sup>-2</sup> when without N fertilizer and its N/K use efficiency was the highest, higher storage root yield. When the amount of N applied was 90 kg·hm<sup>-2</sup>, if the shoots of N/K transport rate, roots distribution rate and storage root yield were the highest, the amount of K fertilizer should be at least 360 kg·hm<sup>-2</sup>. Under appropriate N application, the key of high yield of sweetpotato could promote the shoot N/K to root transfer, improve the rate of distribution in root at harvest.

**Key words:** sweetpotato; nitrogen-potassium; absorption; transfer and distribution; yield

Received 2017-02-16 Accepted 2017-04-05

This work was supported by the National Nature Science Foundation of China (Grant No. 31371577), Shandong Agriculture Innovation Team (Grant No. SDAIT-16-022-01), and Natural Science Foundation of Shandong Province (Grant No. ZR2014CQ040).

\*Corresponding author (E-mail: scyu@sdau.edu.cn).