

# 不同供钾水平对西瓜幼苗生长和根系形态的影响\*

潘艳花<sup>1,2</sup> 马忠明<sup>1\*\*</sup> 吕晓东<sup>1</sup> 杜少平<sup>1</sup> 薛亮<sup>1</sup>

(1. 甘肃省农业科学院 兰州 730070; 2. 甘肃农业大学资源与环境学院 兰州 730070)

**摘要** 通过盆栽试验,研究5个供钾水平(0、60 kg·hm<sup>-2</sup>、240 kg·hm<sup>-2</sup>、500 kg·hm<sup>-2</sup>和700 kg·hm<sup>-2</sup>)下西瓜苗期生长指标和根系形态参数的变化。结果显示:240 kg·hm<sup>-2</sup>钾浓度下,西瓜幼苗茎鲜重、叶鲜重、茎干重、叶干重、子叶面积、茎粗、株高、根长、比根长、表面积、根体积、根尖数和根平均直径分别比不施钾处理增长46.05%、31.31%、57.56%、29.87%、2.92%、12.71%、37.18%、67.23%、64.00%、64.03%、58.88%、154.11%和6.25%。700 kg·hm<sup>-2</sup>钾浓度下,西瓜幼苗茎鲜重、叶鲜重、茎干重、叶干重、子叶面积、茎粗和株高比240 kg·hm<sup>-2</sup>钾浓度处理分别降低40.24%、25.31%、36.90%、23.08%、31.09%、9.81%和41.44%。700 kg·hm<sup>-2</sup>钾肥处理对西瓜幼苗根系生长的抑制作用不明显。所有处理的西瓜幼苗直径≤1.0 mm的根长占总量的90%以上,直径≤0.5 mm的根尖数占总量的98%以上;直径≤2.0 mm的比根长、根体积和根表面积占总量的50%以上;钾素对西瓜幼苗直径≤2.0 mm、2.5 mm<直径≤3.0 mm、3.5 mm<直径≤4.0 mm的根长、比根长、根表面积、根体积影响最明显。由于细根的吸收活力比较强,而西瓜细根所占比例最大,因此缺钾条件下,西瓜幼苗钾营养状况受到的影响较根系生长受到的影响更为严重。适宜的钾浓度有利于西瓜幼苗的生长,提高幼苗的生长质量,促进根系的生长发育,而不施钾和高钾处理会抑制幼苗的生长,但高钾对根系生长的抑制作用不明显。在本试验条件下,综合考虑经济因素,240 kg·hm<sup>-2</sup>钾肥施用量对西瓜幼苗生长和根系形态建成效果最明显。

**关键词** 钾素 西瓜 苗期 根系形态 生长 盆栽试验

中图分类号: S151.94 文献标识码: A 文章编号: 1671-3990(2012)05-0536-06

## Effects of different potassium nutrition on growth and root morphological traits of watermelon seedling

PAN Yan-Hua<sup>1,2</sup>, MA Zhong-Ming<sup>1</sup>, LV Xiao-Dong<sup>1</sup>, DU Shao-Ping<sup>1</sup>, XUE Liang<sup>1</sup>

(1. Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou 730070, China; 2. College of Resources and Environment, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China)

**Abstract** The study was carried out by a pot experiment supplied with five K levels [0 (K0), 60 kg·hm<sup>-2</sup> (K1), 240 kg·hm<sup>-2</sup> (K2), 500 kg·hm<sup>-2</sup> (K3), 700 kg·hm<sup>-2</sup> (K4)] to probe into effects of different application of potassium fertilizer on watermelon seedling growth and root morphology traits. Results indicated that under 240 kg·hm<sup>-2</sup> potassium application, stem fresh weight, leaf fresh weight, stem dry weight, leaf dry weight, leaf area, stem diameter, plant height, total root length, specific root length, surface area, root volume, root tips and root average diameter were 46.05%, 31.31%, 57.56%, 29.87%, 2.92%, 12.71%, 37.18%, 67.23%, 64.00%, 64.03%, 58.88%, 154.11% and 6.25% higher than those under no potassium application. Under 700 kg·hm<sup>-2</sup> potassium application, stem fresh weight, leaf fresh weight, stem dry weight, leaf dry weight, leaf area, stem diameter and plant height were 40.24%, 25.31%, 36.90%, 23.08%, 31.09%, 9.81% and 41.44% lower than those under 240 kg·hm<sup>-2</sup> potassium application. The effect of 700 kg·hm<sup>-2</sup> potassium application on root morphological traits were not obvious. Additionally, the root length in root diameter ≤ 1.0 mm was above 90%, the root tips in root diameter range ≤ 0.5 mm was above 98%, specific root length, surface area and root volume in root diameter ≤ 2.0 mm was above 50% of total amount, respectively. Root length, specific root length, surface area and root volume of root diameter ≤ 2.0 mm, 2.5 mm < diameter ≤ 3.0 mm, 3.5 mm < diameter ≤ 4.0 mm were significant affected by K level. Morphological traits were determined by specific root length, surface area, root volume and tips in root diameter ≤ 2.0

\* 国家西甜瓜产业技术体系项目(nycytx-36-01-02-02)资助

\*\* 通讯作者: 马忠明(1964—), 男, 研究员, 博士, 博士生导师, 主要从事保护性农业、节水农业研究。E-mail: mazhming@163.com  
潘艳花(1985—), 女, 在读硕士, 研究方向为土壤生态学。E-mail: panyh2006@st.gsau.edu.cn

收稿日期: 2011-10-14 接受日期: 2011-12-28

mm. Because of relatively stronger absorption and the largest proportion of fine roots, the impact of potassium deficit on potassium nutrition of watermelon seedling was more serious than that on roots growth. Appropriate potassium concentration was beneficial to the growth of watermelon seedlings, it could improve the quality of seedlings growth, root growth and development. No potassium application and high potassium restrained the growth of seedlings, but the inhibition of high potassium on the root growth was not obvious. Under this experimental condition, the 240 kg·hm<sup>-2</sup> potassium application treatment was the best.

**Key words** Potassium, Watermelon, Seedling stage, Root morphological traits, Growth, Pot experiment

(Received Oct. 14, 2011; accepted Dec. 28, 2011)

钾是植物体内多种酶的催化剂, 能促进光合作用, 增强植株抗病能力, 提高果实含糖量和品质<sup>[1]</sup>。我国西瓜虽然果大, 但品质、风味较差<sup>[2]</sup>, 增施钾肥可促进西瓜的营养生长, 显著提高单瓜重量, 提高产量, 增加可溶性糖含量和维生素C含量, 降低西瓜硝酸盐含量<sup>[3-5]</sup>。在河南、山东和甘肃等省的研究表明, 西瓜对钾的需求量超过氮<sup>[6-8]</sup>。但施钾量过低或过高都可明显影响西瓜品质<sup>[3-6]</sup>。因此, 对西瓜施钾, 尤其是对西瓜苗期钾素营养的响应研究, 是确定西瓜合理施钾和调控钾素营养促进西瓜生长的一个重要方面。

植物生长过程中所需营养只能通过根系从土壤中吸收, 因此根系的发育情况及其获取水分和养分的能力在很大程度上影响着植株体的生长<sup>[9-10]</sup>。在干旱少雨或缺乏灌溉条件的地区, 发达的根系是提高西瓜植株生长势和经济产量的前提, 特别是为提高西瓜产量和植株抗旱性, 更应促进根系发育<sup>[11]</sup>。根系形态特征(包括根长、半径、侧根数量、密度及根毛长度等因子)在决定养分和水分吸收效率方面具有重要性。根表面积、根体积等根系形态学指标会影响到根对钾的获取或钾向根表的迁移<sup>[10]</sup>。在施氮肥、磷肥的基础上施钾, 能明显影响根的形态与生长<sup>[12]</sup>。Mengel<sup>[13]</sup>研究表明, 黑麦草由于根系发达、阳离子交换量高, 因此能在低钾环境下正常生长。低钾胁迫下小麦的根重、根数、总根长、总吸收面积均明显降低<sup>[14]</sup>。张志勇等<sup>[15]</sup>在缺钾对棉花幼苗根系生长的影响及其生理机制研究中表明, 与适钾处理相比, 缺钾处理显著抑制了根系伸长。而关于钾肥对西瓜根系影响的研究报道较少。本试验采用室内盆栽方法, 从西瓜地上部和地下部形态学和生理学的角度研究不同施钾水平对西瓜苗期生长的影响, 揭示不同供钾水平对西瓜苗期生长和根系建成的影响, 旨在为西瓜苗期钾肥管理和后期西瓜生长提供施肥依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验设计与方法

采用盆栽试验, 于 2011 年在甘肃省农业科学院温室大棚中进行。设不施钾 0(K0)、60 kg·hm<sup>-2</sup>(K1)、

240 kg·hm<sup>-2</sup>(K2)、500 kg·hm<sup>-2</sup>(K3)和 700 kg·hm<sup>-2</sup>(K4) 5 个 K<sub>2</sub>O 处理。各处理施氮、磷量一致。N 270 kg·hm<sup>-2</sup>, 基肥、苗肥、蔓肥、果肥分别按总施氮量的 40%、5%、30%、25% 施入; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 110 kg·hm<sup>-2</sup>, 基肥一次性施入。供试土壤为沙壤土, 取自甘肃省武威市民勤县大坝乡 0~20 cm 耕层土壤, 基本理化性状为: pH 8.67, 有机质 7.5 g·kg<sup>-1</sup>, 全氮 0.42 g·kg<sup>-1</sup>, 全磷 0.68 g·kg<sup>-1</sup>, 全钾 1.82 g·kg<sup>-1</sup>, 速效钾 110.0 mg·kg<sup>-1</sup>。土样风干过筛后与蛭石 1:1 体积混匀, 每盆装入 14 kg 混合物, 并与肥料混匀后装入瓦氏盆(盆高 35 cm, 直径 33 cm)。每个处理 24 盆, 采用随机排列。供试西瓜品种为“陇抗 9 号”, 于 5 月 1 日播种, 出苗后每盆留 1 株, 各株分别编号。子叶面积于 5 月 25 日测定, 茎叶重、茎粗、株高和根系形态于 6 月 7 日取样, 每个处理选取长势均匀一致的瓜苗 6 株进行各项指标的测定。

### 1.2 样品采集与分析方法

子叶面积的测定: 在西瓜子叶充分展开时, 用直尺测量子叶纵、横径, 按陈年来等<sup>[16]</sup>报道的相关系数法估算子叶面积。子叶面积计算公式为: 子叶面积=0.792 6×纵径×横径-0.061 8。

干物质的测定: 先测定株高、茎粗和子叶面积, 再采集样品, 将植株按茎、叶、根系分开采集, 称鲜重后, 在鼓风干燥恒温箱中于 105 °C 下杀青 30 min 后, 再在 80 °C 烘干至恒重, 用 1/10 000 电子天平称重。

瓜苗根系形态指标: 将瓜苗带土取出, 轻轻抖动, 使植株与土壤分离, 洗根, 然后采用 Win RHIZO™ 对根系扫描图像进行分析, 获取相应的根系形态参数, 如根系总长、根系直径、比根长、根表面积、根体积、根尖数等。

### 1.3 数据分析

试验数据采用 EXCEL 2007 和 SPSS 11.5 软件进行统计分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同供钾水平对西瓜幼苗生长的影响

由表 1 看出, 施钾肥可增加西瓜幼苗茎叶干鲜重、茎粗、株高和子叶面积。随施钾量增加, 西瓜幼苗茎叶干鲜重、茎粗、株高和子叶面积先增后降,

且以 K2 施钾水平下最高, 与 K0 相比, 除子叶面积外, 西瓜幼苗地上部指标差异达到显著水平, 茎干重差异达到极显著水平。K2 处理西瓜幼苗茎鲜重、叶鲜重、茎干重、叶干重、子叶面积、茎粗和株高分别比不施钾处理增长 46.05%、31.31%、57.56%、29.87%、2.92%、12.71%和 37.18%。700 kg·hm<sup>-2</sup> 钾浓度下, 西瓜幼苗茎鲜重、叶鲜重、茎干重、叶干重、子叶面积、茎粗和株高比 240 kg·hm<sup>-2</sup> 钾浓度处理分别降低 40.24%、25.31%、36.90%、23.08%、31.09%、9.81%和 41.44%。西瓜出苗对钾肥的要求很小, 土壤本身的钾素能够满足其需求, 因此施钾并未明显影响子叶面积。不同施钾处理均促进了西瓜幼苗的生长, 且促进作用随施钾水平的提高呈增加趋势, 但过高的施钾量又会抑制西瓜幼苗的生长, K2 与 K4 处理比较, 各项指标均达到差异显著水平, 茎干鲜重和子叶面积达到差异极显著水平。

## 2.2 不同供钾水平对西瓜幼苗根系整体形态的影响

根系发育的好坏决定着植物利用土壤养分和水分能力的高低。在逆境下植物能够感应外界胁迫, 通过自身调节系统, 以增强在胁迫条件下的生存机会而在生理和形态上发生适应反应<sup>[17-18]</sup>。表 2 结果显示, 西瓜幼苗根系总根长、比根长、根体积、根表面积、根尖数和根平均直径均随施钾量的增加表现为先增加后降低的规律。在不施钾(K0)情况下, 总根长、比根长、根体积、根表面积、根尖数和根平

均直径均低于施钾处理; 总根长在 K2 施钾水平下最高, 与 K0 差异达极显著水平; 比根长、根体积、根表面积、根尖数和根平均直径以 K3 处理最高, 与 K0 处理比较, 除根体积和根平均直径外, 其他各项指标差异均达到极显著水平; K2 处理下西瓜幼苗根长、比根长、表面积、根体积、根尖数和根平均直径的平均值分别比不施钾处理增长 67.23%、64.00%、64.03%、58.88%、154.11%和 6.25%, 施钾处理间各指标差异不显著。随施钾量增加, 过高的施钾量又会抑制西瓜幼苗根系的生长, 但抑制作用不明显。这表明适量钾供应, 有利于西瓜幼苗根系建成, 有助于西瓜根系对养分和水分的吸收利用。

## 2.3 不同供钾水平对西瓜幼苗不同直径范围内根系生长的影响

不同直径范围根系的吸收能力存在差别, 一般认为细根的吸收能力强于粗根<sup>[19]</sup>。从表 3 不同直径根系形态指标测定结果看, 各处理直径≤1.0 mm 的根长占总根长的 90%以上, 直径≤2.0 mm 的比根长、根表面积、根体积达到 50%以上, 直径≤0.5 mm 的根尖数达到 98%。这说明, 直径≤2.0 mm 根系的形态参数可表征根系的性状。从表 3 可知, 施钾可增加不同直径范围内的根长、比根长、根表面积、根体积和根尖数, 且随施钾量增加, 西瓜幼苗不同直径范围内的根长、比根长、根表面积、根体积和根尖数有先增后降的趋势。各项指标(除根尖数)以

表 1 不同供钾水平对西瓜幼苗生长的影响

Table 1 Effect of different potassium levels on growth of watermelon seedling

处理 Treatment	茎鲜重 Stem fresh weight (g·plant <sup>-1</sup> )	叶鲜重 Leaf fresh weight (g·plant <sup>-1</sup> )	茎干重 Stem dry weight (g·plant <sup>-1</sup> )	叶干重 Leaf dry weight (g·plant <sup>-1</sup> )	子叶面积 Cotyledon area (cm <sup>2</sup> )	茎粗 Stem diameter (mm)	株高 Plant height (cm)
K0	2.53±0.56ABbc	9.79±1.82ab	0.17±0.31Bb	0.98±0.18b	12.69±1.18Aa	4.25±0.18b	12.05±1.27bc
K1	3.16±0.67ABabc	11.92±1.63ab	0.23±0.47ABab	1.27±0.16a	12.67±1.03Aa	4.76±0.28a	14.55±3.54ab
K2	3.70±0.64Aa	12.85±1.25a	0.27±0.60Aa	1.27±0.16a	13.06±0.41Aa	4.79±0.25a	16.53±2.51a
K3	3.32±1.40ABab	11.93±3.15ab	0.24±0.85ABab	1.13±0.12ab	11.74±1.56Aa	4.45±0.15ab	14.58±1.71ab
K4	2.21±0.97Bc	9.60±2.69b	0.17±0.76Bb	0.98±0.30b	9.00±1.14Bb	4.32±0.29b	9.68±2.60c

K0: 0 kg(K<sub>2</sub>O)·hm<sup>-2</sup>; K1: 60 kg(K<sub>2</sub>O)·hm<sup>-2</sup>; K2: 240 kg(K<sub>2</sub>O)·hm<sup>-2</sup>; K3: 500 kg(K<sub>2</sub>O)·hm<sup>-2</sup>; K4: 700 kg(K<sub>2</sub>O)·hm<sup>-2</sup>。同列不同大、小写字母分别表示处理间差异达 1%、5%显著水平, 下同。Different capital and small letters mean significant difference at 1% and 5% levels, respectively. The same below.

表 2 不同供钾水平对西瓜幼苗根系整体形态的影响

Table 2 Effect of different potassium levels on root morphological traits of watermelon seedling

处理 Treatment	总根长 Total root length (cm)	比根长 Specific root length (m·g <sup>-1</sup> )	表面积 Surface area (cm <sup>2</sup> )	根体积 Root volume (cm <sup>3</sup> )	根尖数 Root tips (No·plant <sup>-1</sup> )	根平均直径 Root average diameter (mm)
K0	501.81±193.99Bb	25.89±10.26Bb	81.32±32.22Bb	1.07±0.51b	889±479Bb	0.48±0.06b
K1	664.35±180.84ABab	33.51±8.96ABab	111.95±21.75ABab	1.34±0.39ab	1 657±761ABab	0.51±0.05ab
K2	839.16±160.13Aa	42.46±7.72Aa	133.39±24.26Aa	1.70±0.36ab	2 259±841Aab	0.51±0.15ab
K3	722.85±85.92ABa	44.17±6.57Aa	138.76±20.65Aa	2.21±0.86a	2 369±484Aa	0.62±0.15a
K4	711.76±97.34ABa	42.36±10.81Aa	133.09±33.97Aa	2.03±1.06a	2 094±696Aa	0.53±0.09ab

表 3 不同供钾水平对西瓜幼苗不同直径范围内根系生长的影响

Table 3 Effect of different potassium levels on root morphological traits among different diameters of watermelon seedling

处理 Treatment	根直径 Root diameter (mm)							
	0~0.5	0.5~1.0	1.0~1.5	1.5~2.0	2.0~2.5	2.5~3.0	3.0~3.5	3.5~4.0
总根长 Total root length (cm)								
K0	366.02±146.48Bb	95.95±37.53b	22.32±10.46b	8.07±2.71b	3.89±3.58a	1.79±1.91b	0.93±0.86a	0.60±0.44b
K1	533.26±135.13ABa	118.12±27.14ab	27.44±8.86ab	10.63±2.40ab	5.08±1.59a	3.33±0.58ab	1.15±0.57a	0.83±0.60b
K2	629.50±138.83Aa	141.25±18.26a	35.17±8.49a	14.40±2.70a	7.19±2.68a	4.76±2.57a	1.58±0.71a	1.72±1.10ab
K3	525.94±72.15ABa	123.71±21.12ab	32.42±4.73ab	13.93±2.84a	7.57±2.40a	4.86±1.28a	2.42±1.11a	3.04±2.33a
K4	547.05±99.05ABa	113.24±9.77ab	30.62±11.25ab	12.70±5.21ab	7.52±2.97a	4.46±3.26ab	2.18±1.75a	2.15±1.81ab
比根长 Specific root length (m·g <sup>-1</sup> )								
K0	8.67±3.37Bb	6.53±2.54Bb	2.70±1.27b	1.38±0.98b	0.86±0.79a	0.48±0.52b	0.30±0.27a	0.22±0.16b
K1	12.42±3.14ABa	8.06±1.92ABab	3.33±1.09ab	1.83±0.41ab	1.12±0.35a	0.91±1.15ab	0.37±0.19a	0.31±0.23b
K2	14.30±2.78Aa	9.84±1.25Aa	4.30±1.06a	2.48±0.48a	1.58±0.59a	1.30±0.69a	0.50±0.23a	0.64±0.41ab
K3	12.12±1.81ABa	8.58±1.42ABab	3.96±0.56ab	2.40±0.47a	1.67±0.54a	1.33±0.36a	0.76±0.35a	1.13±0.87a
K4	12.81±2.22ABa	7.82±0.68ABab	3.75±1.39ab	2.20±0.89ab	1.66±0.65a	1.22±0.91ab	0.71±0.56a	0.81±0.66ab
表面积 Surface area (cm <sup>2</sup> )								
K0	27.22±10.58Bb	20.53±Bb	8.47±3.98b	4.32±3.98b	2.71±2.51a	1.51±1.64b	0.95±0.86a	0.69±0.51b
K1	39.03±9.87ABa	25.34±ABab	10.45±3.43ab	5.75±1.29ab	3.53±1.11a	2.85±0.47ab	1.16±0.59a	0.97±0.72b
K2	44.92±2.78Aa	30.90±Aa	13.52±3.32a	7.78±1.50a	4.97±1.86a	4.08±2.16a	1.57±0.73a	2.02±1.29ab
K3	38.06±1.81ABa	26.96±ABab	12.43±1.77ab	7.53±1.49a	5.26±1.69a	4.19±1.13a	2.22±1.11a	3.54±2.74a
K4	40.25±2.22ABa	24.56±ABab	11.77±4.36ab	6.91±2.81ab	5.21±2.03a	3.82±2.84ab	2.40±1.77a	2.55±2.08ab
根体积 Root volume (cm <sup>3</sup> )								
K0	0.22±0.08Bb	0.36±0.14Bb	0.26±0.12b	0.19±0.08b	0.15±0.14a	0.10±0.11b	0.08±0.07a	0.06±0.05a
K1	0.29±0.07ABa	0.45±0.11ABab	0.32±0.11ab	0.25±0.07ab	0.20±0.06a	0.19±0.03ab	0.09±0.05a	0.09±0.07a
K2	0.33±0.61Aa	0.56±0.07Aa	0.42±0.10a	0.34±0.06a	0.27±0.10a	0.28±0.14a	0.13±0.06a	0.19±0.12a
K3	0.29±0.45ABa	0.49±0.08ABab	0.38±0.05ab	0.33±0.04a	0.29±0.09a	0.29±0.08a	0.19±0.09a	0.33±0.26b
K4	0.30±0.52ABa	0.44±0.41ABab	0.37±0.14ab	0.30±0.05ab	0.29±0.11a	0.26±0.20ab	0.18±0.14a	0.24±0.19a
根尖数 Root tips (No·plant <sup>-1</sup> )								
K0	879.00±475.76Bb	7.40±4.22a	1.40±2.19a	—	—	—	—	—
K1	1 629.00±719.71ABa	15.20±12.44a	2.80±1.30a	—	—	—	—	—
K2	2 240.00±835.29Aa	13.83±8.61a	3.50±3.27a	—	—	—	—	—
K3	2 352.67±685.14Aa	11.83±3.76a	3.00±2.00a	—	—	—	—	—
K4	2 077.60±690.64Aa	13.00±4.06a	2.00±2.45a	—	—	—	—	—

各处理直径>0.45 mm 根量和直径>2.0 mm 范围内的根尖数极少, 故忽略不计。The few number of root volume in root diameter > 0.45 mm and tips in root diameter > 2.0 mm were ignored.

K2 或 K3 施钾水平下最高, 与 K0 比较, 除 2.0 mm<直径≤2.5 mm 和 3.0 mm<直径≤3.5 mm 外, 其他直径范围内的根长、比根长、根体积和根表面积差异均达到显著水平, 直径≤1.0 mm 的总根长, 直径≤0.5 mm 的根尖数, 直径≤1.5 mm 的比根长、根体积和根表面积差异达到极显著水平。各施钾处理不同直径根系指标间差异未达到显著水平。随着施钾量增加, 不同直径范围内根系生长受到抑制, 但抑制作用不明显。

### 3 讨论

钾能显著促进西瓜幼苗生长, 增加子叶面积、株高、茎粗、茎叶干鲜重。在钾肥对大蒜<sup>[20]</sup>、甘薯<sup>[21]</sup>、甜菜<sup>[22]</sup>、莲藕<sup>[23]</sup>、棉花<sup>[24]</sup>、番茄<sup>[25]</sup>的研究中也证明, 一定范围内随钾肥用量的增加生物量有所提高。随着施钾量进一步增加, 西瓜幼苗地上部生物量则

呈降低趋势, 这可能是由于过高的钾离子浓度影响各种离子(特别是钙离子和镁离子)间的平衡, 影响其他矿物质和水的吸收<sup>[12]</sup>。本研究也表明, 适度的钾浓度水平有利于西瓜幼苗的生长, 提高幼苗的生长质量, 而低钾和高钾水平又会抑制子叶面积、株高、茎粗、茎叶干鲜重的提高, 这与前人的研究结果相似<sup>[26-27]</sup>。

与氮、磷相比, 钾对根系生长影响的研究相对较少。已有研究表明, 钾影响根系生长的作用机制与氮、磷不同, 如土壤中氮、磷富集区(养分空间分布不均匀所致)大麦根系的伸长生长速率高于其他区域, 而钾的富集却可以诱导根系的系统响应, 即整个根系的生长均得到促进<sup>[28]</sup>, 这可能与钾在植物体内的高度移动性有关<sup>[29-30]</sup>。也有研究认为施钾或缺钾均可对作物产生抑制作用, 施钾使棉花根系的总长、总表面积和总体积显著降低<sup>[15]</sup>, 缺钾对水稻

根系生长有一定的抑制作用<sup>[12]</sup>。Sánchez-Calderón 等<sup>[31]</sup>认为缺钾能对根系生长产生抑制作用,通过钾肥的施用,钾素控制了 IAA(吲哚乙酸)氧化酶的活性,提高了 IAA 的含量,促进碳水化合物向根系转运,从而促进了根系的生长<sup>[12]</sup>。Shin 等<sup>[32]</sup>认为缺钾不抑制根系的伸长生长,却显著降低了侧根数和侧根分布密度。实际上,很多文献报道缺钾能够抑制主根伸长生长<sup>[33]</sup>,但能促进根毛生长<sup>[34]</sup>。不同试验条件和试验持续时间也可能导致试验结论不一致。本研究中西瓜幼苗在缺钾条件下根系生长受到明显抑制,施钾能显著促进西瓜苗期总根长、比根长、根表面积、根体积、根平均直径和根尖数的增加,且随钾肥用量的增加而增加。但过高钾处理反而会抑制总根长、比根长、表面积、根体积、根尖数、根半径和根干鲜重的增长。这可能是由于试验供试土壤为风沙土,土壤相对贫瘠,不同的施钾量增加了土壤养分,其有效性可促进光合产物向根系分配,增加根的生物量。与之相反,过高的施钾量下,作物光合作用受到抑制,同化产物向根系分配减少,导致细根生物量下降<sup>[33]</sup>,但这需要进一步研究。

细根生物量对施肥的反应主要表现在低级根<sup>[34]</sup>。任艳芳等<sup>[35]</sup>发现对于不同直径的根系而言,23~184  $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$  Pr对直径 $\leq 1.0$  mm的根长和根表面积、直径 $0.5$  mm $<$ 直径 $\leq 1.0$  mm的根体积的影响最为明显。施钾能增加直径 $<0.2$  mm的水稻细根,从而有利于水稻对钾的吸收<sup>[12]</sup>。缺钾情况下,与棉花幼苗中等根(0.25~0.45 mm)和粗根( $>0.45$  mm)相比,细根(0.05~0.20 mm)受缺钾的影响比较大<sup>[15]</sup>。本研究结果与此类似,施钾能明显改变直径 $\leq 2.0$  mm的根系形态。本研究还表明,根长在直径 $\leq 0.1$  mm的范围内占总量的90%以上,根尖数在直径 $\leq 0.5$  mm的范围内占总量的98%以上,直径 $\leq 2.0$  mm根所占比例最大。与K0相比,K2处理对直径 $\leq 0.5$  mm的根长和根尖数、直径 $\leq 1.0$  mm的比根长、根体积和根表面积的影响达极显著水平,对直径 $\leq 2.0$  mm的根系形态参数(除根尖数外)的影响达显著水平。而细根的吸收活力比较强<sup>[20]</sup>,因此缺钾西瓜幼苗钾营养状况受到的影响较根系生长更为严重。此外施钾对2.5 mm $<$ 直径 $\leq 3.0$  mm、3.5 mm $<$ 直径 $\leq 4.0$  mm根长、比根长、根表面积也有一定影响。

#### 4 结论

适度的钾浓度水平有利于西瓜幼苗的生长,提高幼苗的生长质量,而低钾和高钾水平又会抑制幼苗的生长。施钾影响根系的形态变化,不施钾条件下会明显抑制根系的生长。施用一定量的钾肥对根

系的生长发育有促进作用,但过量钾肥对根系生长有一定抑制作用。所有处理的西瓜幼苗直径 $\leq 1.0$  mm的根长占总根长的90%以上,直径 $\leq 0.5$  mm的根尖数占总量的98%以上,直径 $\leq 2.0$  mm的比根长、根体积和根表面积占总量的50%以上,钾素对西瓜直径 $\leq 2.0$  mm、2.5 $<$ 直径 $\leq 3.0$ 、3.5 $<$ 直径 $\leq 4.0$ 的根长、比根长、根表面积、根体积影响最明显。由于细根的吸收活力比较强,细根所占比例最大,因此缺钾对西瓜幼苗钾营养状况的影响较对根系生长的影响更为严重。在本试验条件下,综合考虑经济因素,K2处理的钾肥施用量对西瓜幼苗生长和根系形态建成效果最明显。

#### 参考文献

- [1] 林多,黄丹枫. 钾素水平对基质栽培网纹甜瓜光合及品质的影响[J]. 园艺学报, 2003, 30(2): 221-223
- [2] 陈钢. 磷水平对西瓜产量、品质、养分吸收及幼苗耐冷性影响的研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2008
- [3] 宋桥生,陈钢,吴礼树,等. 不同供钾水平对西瓜产量和品质的影响[J]. 湖北农业科学, 2007, 46(5): 732-734
- [4] 张爱慧. 氮钾营养对甜瓜生理效应及品质的影响[J]. 金陵科技学院学报, 2004, 20(1): 55-58
- [5] 唐小付,龙明华,于文进,等. 不同钾、钙、镁水平对厚皮甜瓜产量和品质的影响[J]. 北方园艺, 2008(4): 17-20
- [6] 朱洪勋,张翔,沈阿林,等. 西瓜需肥特点与平衡施肥研究[J]. 园艺学报, 1996, 23(2): 145-149
- [7] 张玉凤,董亮,刘兆辉,等. 不同肥料用量和对比对西瓜产量、品质及养分吸收的影响[J]. 中国生态农业学报, 2010, 18(4): 765-769
- [8] 李云祥,王光英,万兵全,等. 甘肃中部地区砂田西瓜平衡施肥效应及效益研究[J]. 土壤通报, 2008, 39(2): 453-455
- [9] 周广生,梅方竹,陈艳华. 冬小麦根系活力与产量性状关系的研究[J]. 华中农业大学学报, 2001, 20(6): 531-534
- [10] Sattelmacher B, Horst W J, Becker H C. Factors that contribute to genetic variation for nutrient efficiency of crop plants[J]. J Plant Nutr Soil Sci, 1994, 157(3): 215-224
- [11] 王坚. 中国西瓜甜瓜[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000: 351-371
- [12] 陈际型. 钾素营养对水稻根系生长和养分吸收的影响[J]. 土壤学报, 1997, 34(2): 182-188
- [13] Mengel K. Responses of various crop species and cultivars to fertilizer application[J]. Plant Soil, 1983, 72(2/3): 305-319
- [14] 张永清,毕润成,庞春花,等. 不同品种春小麦根系对低钾胁迫的生物学响应[J]. 西北植物学报, 2006, 26(6): 1190-1194
- [15] 张志勇,王清连,李召虎,等. 缺钾对棉花幼苗根系生长的影响及其生理机制[J]. 作物学报, 2009, 35(4): 718-723

- [16] 陈年来, 王刚, 陶永红. 甜瓜叶系统发育动态研究[J]. 西北植物学报, 2003, 23(4): 615-621
- [17] 邹春琴, 李振声, 李继云. 小麦对钾高效吸收的根系形态学和生理学特征[J]. 植物营养与肥料学报, 2001, 7(1): 36-43
- [18] 王姣爱, 张定一, 贾文兰, 等. 不同冬小麦基因型对钾肥敏感性差异的研究[J]. 麦类作物学报, 2000, 20(3): 35-39
- [19] Sullivan W M, Jiang Z C, Hull R J. Root morphology and its relationship with nitrate uptake in Kentucky bluegrass[J]. Crop Sci, 2000, 40(3): 765-772
- [20] 朱建忠, 吴震, 徐兰, 等. 钾肥施用量对嘉定白蒜植株生长和蒜头产量及商品性的影响[J]. 上海农业学报, 2005, 21(3): 29-31
- [21] 史春余, 王振林, 赵秉强, 等. 钾营养对甘薯某些生理特性和产量形成的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2002, 8(1): 81-85
- [22] Geiger D R, Conti T R. Relation of increasing potassium nutrient of photosynthesis and translocation of carbon[J]. Plant Physiol, 1983, 71(1): 141-144
- [23] 刘冬碧, 陈防, 熊桂云, 等. 钾素营养对莲藕生长和干物质累积的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2009(5): 34-37
- [24] 陈波浪, 盛建东, 蒋平安, 等. 钾营养对水培棉花生长发育的影响[J]. 中国农学通报, 2008, 24(11): 267-271
- [25] 孙红梅, 李天来, 须晖, 等. 钾营养对保护地番茄氮钾吸收及植株生育的影响[J]. 中国蔬菜, 2001(4): 14-16
- [26] 高慧, 孙春香. 不同钾水平对番茄幼苗生长的影响[J]. 长江蔬菜, 2007(8): 54-55
- [27] 安琼, 王丽敏, 张鹏, 等. 不同钾浓度对玉米幼苗生长的影响[J]. 中国农学通报, 2011, 27(5): 115-119
- [28] Drew M C. Comparison of the effects of a localised supply of phosphate, nitrate, ammonium and potassium on the growth of the seminal root system, and the shoot, in barley[J]. New Phytol, 1975, 75(3): 479-490
- [29] Hodge A. The plastic plant: Root responses to heterogeneous supplies of nutrients[J]. New Phytol, 2004, 162(1): 9-24
- [30] de Jager A. Effects of localized supply of  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ , and  $\text{K}^+$  on the production and distribution of dry matter in young maize plants[J]. Neth J Agric Sci, 1982, 30: 193-203
- [31] Sánchez-Calderón L, López-Bucio J, Chacón-López A, et al. Phosphate starvation induces a determinate developmental program in the roots of *Arabidopsis thaliana*[J]. Plant Cell Physiol, 2005, 46(1): 174-184
- [32] Shin R, Schachtman D P. Hydrogen peroxide mediates plant root cell response to nutrient deprivation[J]. Proc Natl Acad Sci USA, 2004, 101(23): 8827-8832
- [33] Jung J Y, Shin R, Schachtman D P. Ethylene mediates response and tolerance to potassium deprivation in *Arabidopsis*[J]. Plant Cell, 2009, 21(2): 607-621
- [34] Kim M J, Silvano C, Schachtman D P. A peroxidase contributes to ROS production during *Arabidopsis* root response to potassium deficiency[J]. Molecular Plant, 2010, 3(2): 420-427
- [35] 任艳芳, 何俊瑜, 周国强, 等. 镉对镉胁迫下水稻幼苗根系生长和根系形态的影响[J]. 生态环境学报, 2010, 19(1): 102-107