

网络出版时间:2016-04-07 09:00

DOI:10.13207/j.cnki.jnwfufu.2016.05.020

网络出版地址:http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1390.S.20160407.0900.040.html

钾肥对番茄果实养分吸收及类胡萝卜素含量的影响

朱兰英, 邹志荣, 杜天浩, 任文奇

(西北农林科技大学 园艺学院, 陕西 杨凌 712100)

【摘要】【目的】探讨钾肥对番茄果实养分吸收及类胡萝卜素含量的影响。【方法】以“东圣 T01”番茄为试材, 设置 5 个钾肥处理(每株钾肥施用量分别为 0, 1.75, 3.50, 5.25 和 7.00 g), 于第一穗花开时统一进行滴灌追肥处理, 测定番茄第一、二、三穗果的氮、磷、钾吸收量及类胡萝卜素(番茄红素、 β -胡萝卜素、叶黄素)含量, 分析钾肥处理对番茄每穗果的养分吸收及类胡萝卜素含量的影响关系。【结果】不同钾肥处理对番茄氮、磷吸收量的影响规律在每穗果间不一致, 而钾吸收量均随钾肥用量增加总体呈上升趋势。番茄第一、二、三穗果的番茄红素含量均随钾肥用量增大总体呈显著减小趋势, 且钾肥处理与各穗果的番茄红素含量间的相关系数与直接通径系数方向相同, 均为负值; 钾肥对番茄各穗果 β -胡萝卜素和叶黄素含量影响无明显规律性, 其中只有第一穗果的 β -胡萝卜素和叶黄素含量随钾肥用量增大总体减小, 第二、三穗果的 β -胡萝卜素和叶黄素含量与钾肥处理的相关性并不显著, 且通过氮、磷、钾吸收产生的总的间接通径系数绝对值大于直接通径系数。【结论】钾肥处理与番茄果实的番茄红素含量呈直接负相关, 且相关程度随果穗数增加而减小; 钾肥处理只与第一穗果的 β -胡萝卜素和叶黄素含量显著负相关, 对第二、三穗果的影响较小, 且是通过影响养分吸收间接实现的。

【关键词】 钾肥; 番茄; 养分吸收; 类胡萝卜素

【中图分类号】 S641.206⁺.2

【文献标志码】 A

【文章编号】 1671-9387(2016)05-0147-10

Effects of potassium fertilizer on nutrient absorption and carotenoids content of tomato fruits

ZHU Lan-ying, ZOU Zhi-rong, DU Tian-hao, REN Wen-qi

(College of Horticulture, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: 【Objective】 This study aimed to explore the effects of potassium fertilizer on nutrient absorption and carotenoids content of tomato fruits. 【Method】 “Dongsheng T01” tomatoes were tested with five potassium fertilizer treatments (potassium fertilizer amounts per plant were 0, 1.75, 3.50, 5.25 and 7.00 g, respectively). When the first inflorescence bloomed, potassium fertilizer was applied using drip irrigation system. Then nitrogen absorption, phosphorus absorption, potassium absorption and carotenoids (lycopene, β -carotene, and lutein) contents of the first, second and third infructescences were measured to analyze the effects of potassium fertilizer treatments on nutrient absorption and carotenoids contents. 【Result】 The influence of potassium fertilizer treatments on nitrogen absorption and phosphorus absorption presented different trends among different tomato infructescences, while potassium absorption increased with the increase of potassium fertilizer application amount. Lycopene contents of the first, second and third infructescences decreased significantly with the increase of potassium fertilizer. The directions of their correlation coefficients were negative, same as the direct path coefficients of potassium fertilizer treatments to lycopene

【收稿日期】 2015-10-09

【基金项目】 国家大宗蔬菜产业技术体系项目(CARS-25-D-02); 陕西省农业系统专项资金项目

【作者简介】 朱兰英(1991—), 女, 安徽宿州人, 硕士, 主要从事设施园艺研究。E-mail: zhulanying1991@126.com

【通信作者】 邹志荣(1956—), 男, 陕西延安人, 教授, 博士, 博士生导师, 主要从事设施园艺研究。

content. Effects of potassium fertilizer on β -carotene and lutein contents had no regularity for every tomato infructescence. β -carotene and lutein contents of the first tomato infructescence decreased significantly with the increase of potassium fertilizer, while potassium treatments affected β -carotene and lutein contents of the second and third infructescences insignificantly. The absolute values of indirect path coefficients were bigger than those of direct path coefficients. 【Conclusion】 There was direct negative correlation between potassium fertilizer treatments and lycopene content of tomato fruits, and the degree decreased gradually with the increase of infructescence number. Treatments had significant negative effects on β -carotene content, lutein content of the first infructescence, but rare effects on β -carotene and lutein contents of the second and third infructescences through affecting nutrient absorption.

Key words: Potassium fertilizer; tomato; nutrient absorption; carotenoids

钾作为植物生长必需的营养元素,在维持细胞内物质正常代谢、酶活性增加、促进光合作用及其产物的运输和蛋白质合成等生理生化功能方面发挥着重要作用^[1-3]。在所有植物营养元素中,已知钾是与作物品质关系最为密切的元素之一,缺钾不仅会影响产量,也影响品质,比如适当增施钾肥可以提高番茄果实中固形物、维生素 C、糖分、有机酸含量而降低硝酸盐含量^[3-5]。钾对作物品质的影响可以分为直接和间接作用 2 个方面,直接作用如提高某些矿物质养分等的数量和质量;间接作用是通过调整同步的营养元素的吸收与分配,影响相应的代谢活动,从而改变作物品质^[6]。

类胡萝卜素是一类呈黄色、橙红色或红色的多烯类物质,广泛存在于高等植物中,在植物光保护、激素代谢和生长调节过程中发挥着重要作用^[7-8]。番茄果实的颜色即源于其组织细胞之中的类胡萝卜素化合物^[9],主要有番茄红素、 β -胡萝卜素和叶黄素。近年来的研究发现,番茄红素和叶黄素有一定的抗氧化性,可用作美容保健品的原料^[10], β -胡萝卜素则是人体膳食结构中最重要的维生素 A 前体^[11],因此类胡萝卜素含量多少已成为评价番茄品质的重要指标。

虽然近年来关于钾肥对蔬菜作物类胡萝卜素含量影响的研究已有所涉及,但只是简单说明类胡萝卜素含量随着钾肥用量的变化而有所改变或差异显著^[12-15],而关于钾肥对番茄不同果穗类胡萝卜素含量的影响研究还未见报道。因此,本试验研究了钾肥对番茄第一至三穗果氮、磷、钾养分吸收及对三大类胡萝卜素含量的影响,旨在进一步探讨钾肥对番茄类胡萝卜素含量的调控规律,为阐明番茄类胡萝卜素调控机理及合理施用钾肥提供一定的理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验场地与材料

试验于 2014-11—2015-03 及 2015-03—2015-07 在陕西杨凌健养农业科技有限公司园区内的日光温室中进行。试验地位于北纬 34°26′、东经 108°07′,属暖温带半干旱半湿润大陆性季风气候。供试番茄品种为“东圣 T01”,由杨凌新天地农业示范园提供。采用袋(规格 60 cm×45 cm,材质为外灰内黑的 PE 薄膜)培种植方式种植,基质采用由菇渣、牛粪和蛭石均匀配制而成的复合基质。其基本养分属性如下:全氮 14.465 g/kg,全磷 4.657 g/kg,缓效钾 12.475 g/kg,铵态氮 0.149 g/kg,硝态氮 0.920 g/kg,速效磷 1.674 g/kg,速效钾 3.054 g/kg。

1.2 试验设计与方法

每袋装基质约 6 kg,4 叶 1 心时定植番茄幼苗 2 株,摆放栽培袋时间距、行距分别为 20 cm 和 50 cm,采用双行栽培。番茄采用单干整枝方式整枝,留 3 穗果摘心。利用水肥一体化系统进行水肥处理,每株番茄根部周围插入一个滴箭,除钾肥外,其他管理措施同常规栽培。

于每穗花开花时挂牌标记,并于第一穗花开花时统一进行滴灌追肥处理,钾肥(K_2SO_4)的施用量分为 5 个水平,即总共 5 个处理:CK. 不追施钾肥;T1. 每株追施 1.75 g 钾肥;T2. 每株追施 3.50 g 钾肥;T3. 每株追施 5.25 g 钾肥;T4. 每株追施 7.00 g 钾肥。每处理设 3 个重复,每个重复 20 袋,即 40 株,按照随机区组排列。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 番茄果实氮、磷、钾吸收量 于每穗果红熟时取样,每个小区选取 4 株开花时间一致的植株,采取相同成熟果穗的任意 2 个果,用去离子水洗净后,放在恒温干燥箱中 105 °C 杀青 30 min,再调至 75 °C

烘干至质量恒定。之后用凯氏法消解,用 AA3 连续流动分析仪测定其 N 吸收量,用钒钼黄比色法测定 P 吸收量,用火焰光度法测定 K 吸收量^[16]。

1.3.2 番茄果实类胡萝卜素含量 按上述取样方法采取鲜果后,对文献[10,17-18]的方法略作修改进行叶黄素、番茄红素及 β-胡萝卜素的萃取测定。称取 2 g 果实匀浆样品,放入 40 mL 棕色瓶中,加入 5 mL 丙酮,超声 5 min。重复以上操作,直至棕色瓶中残渣颜色变为无色。结束超声,合并收集的上清液,将用孔径 0.45 μm 的有机相微孔滤膜过滤后的溶液定容到 25 mL 的棕色容量瓶中。再用孔径 0.22 μm 有机相微孔滤膜二次过滤,装入 2 mL 的棕色样品瓶,HPLC 待测。用高效液相色谱(Waters 600E)将萃取液中的各类胡萝卜素进行定性定量分离。色谱条件:C₁₈固定相;Waters symmetry C₁₈柱(250 mm×4.6 mm,5 μm);流动相 A:乙腈-水混合液(V(乙腈):V(水)=8:2);流动相 B:乙酸乙酯;线性梯度洗脱:在 15 min 内,流动相 B 由 0 增加至 100%(体积分数),随后 5 min 内,流动相 B 保持 100%;流速 1.0 mL/min,色谱图检测波长:475 nm。

1.4 数据处理

采用 SPSS 17.0 和 Excel 2003 软件进行数据

处理、统计分析和绘图。

2 结果与分析

2.1 钾肥对番茄果实养分吸收的影响

2.1.1 氮吸收量 由图 1 可以看出,第一穗果的氮吸收量较高,为 23.311~35.804 mg/g;第二穗果稍低,为 24.914~30.65 mg/g;第三穗果最低,为 19.425~26.741 mg/g,这可能与生育期推进过程中含氮物质在各穗果中的分配不同有关。对第一穗果(FI-1)而言,与对照相比,除 T1 处理外,其他钾肥处理均对其氮吸收量有显著影响,且 T2 和 T3 处理分别比 CK 处理高 33.1%和 12.6%,而 T4 比 CK 处理低 13.3%。在不同的钾肥处理下,第二、三穗果的氮吸收量变化趋势与第一穗果有所不同。第二穗果(FI-2)在 T4 处理水平下的氮吸收量比 CK 显著增加了 7.0%;T3 处理的氮吸收量低于 CK 处理,但是二者差异不显著;T1 和 T2 处理的氮吸收量均显著低于 CK。第三穗果(FI-3)在 T3 和 T4 处理水平下,氮吸收量较 CK 分别增加了 14.2%和 17.3%;而在 T2 处理水平下,氮吸收量与 CK 无显著性差异;在 T1 处理水平下,氮吸收量显著低于 CK。

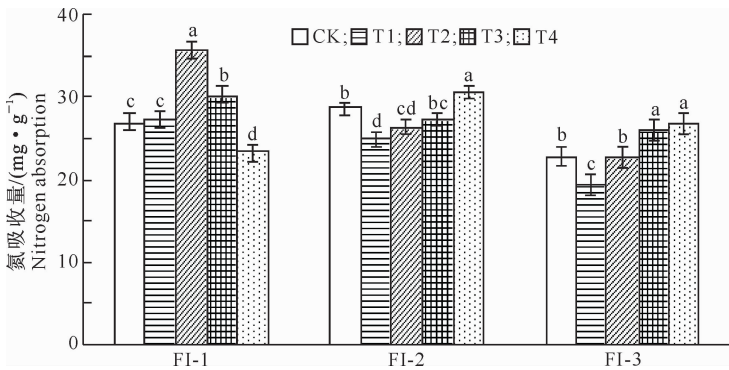


图 1 不同钾肥处理对番茄果实氮吸收量的影响

FI-1. 第一穗果;FI-2. 第二穗果;FI-3. 第三穗果;图柱上标不同小写字母表示差异显著(P<0.05)。下同

Fig.1 Effect of different potash fertilizer treatments on nitrogen absorption of tomato fruits

FI-1. Fruits of the first infructescence;FI-2. Fruits of the second infructescence;FI-3. Fruits of the third infructescence;

Different lowercase letters indicate significant difference (P<0.05). The same below

2.1.2 磷吸收量 由图 2 可知,第一穗果和第二穗果的磷吸收量较高,分别为 5.362~6.716 和 5.078~6.127 mg/g;而第三穗果的磷吸收量较低,为 3.683~4.392 mg/g。第一穗果在 T3 处理水平下,磷吸收量明显高于 CK、T1 和 T4 处理,但是与 T2 处理差异不显著;在 T1 和 T4 处理水平下,磷吸收量均低于 CK 处理,但是三者之间差异不显著。

第二穗果在 T4 处理水平下,磷吸收量显著低于 T2 和 T3 处理,而与 CK 及 T1 处理无显著差异;在 T2 和 T3 处理下,磷吸收量分别比 CK 高 2.6%和 1.9%,但差异并不显著;在 T1 处理下,磷吸收量虽比 CK 低 10.2%,但差异也不显著。与 CK 相比,第三穗果在 4 个钾处理下的磷吸收量均增高,但差异不显著。

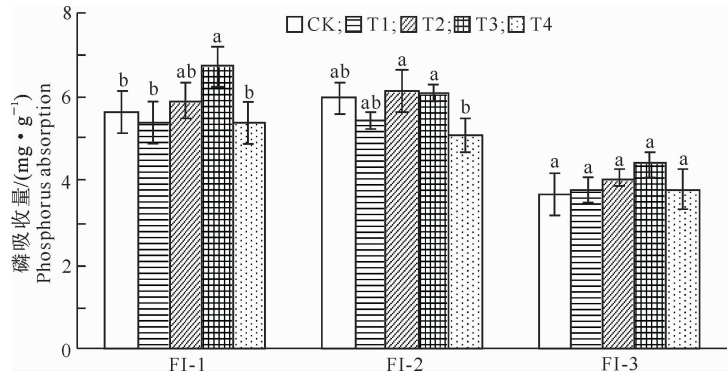


图 2 不同钾肥处理对番茄果实磷吸收量的影响

Fig. 2 Effect of different potassium fertilizer treatments on phosphorus absorption of tomato fruits

2.1.3 钾吸收量 图 3 显示,第一、二和三穗果的钾吸收量分别为 39.51~64.26,44.11~60.24 和 41.10~59.05 mg/g。果穗的钾吸收量整体上随钾肥用量的增多均呈增加趋势。第一穗果的钾吸收量,在 CK 处理水平下最低(39.51 mg/g),其余 4 个钾肥处理均显著高于 CK,分别比 CK 增加了

11.0%,31.4%,50.1%和 62.6%。第二穗果的钾吸收量在 T1 处理水平下最低,显著低于 T2、T3 和 T4 处理,但是与 CK 处理差异不显著。第三穗果在 T1 处理水平下的钾吸收量明显低于其他 4 个处理;CK、T2 和 T3 处理间钾吸收量差异不显著,但是三者均显著低于 T4 处理。

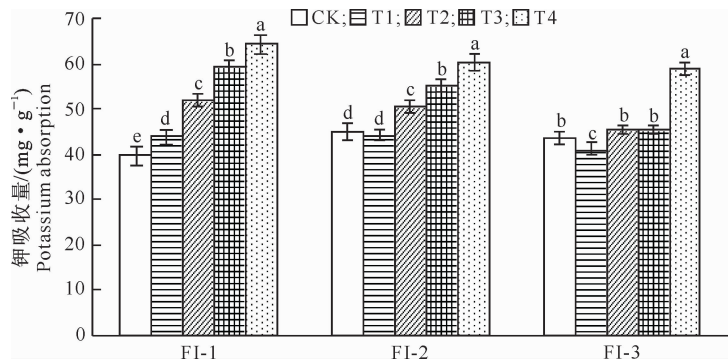


图 3 不同钾肥处理对番茄果实钾吸收量的影响

Fig. 3 Effect of different potassium fertilizer treatments on potassium absorption of tomato fruits

2.2 钾肥对番茄果实类胡萝卜素含量的影响

实样品萃取物的 HPLC 分离色谱图。

图 4 和图 5 分别为类胡萝卜素标准品及番茄果

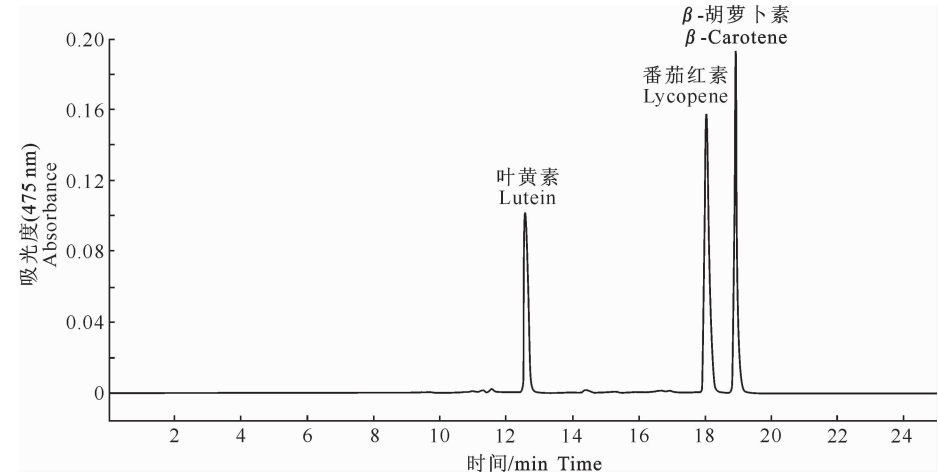


图 4 3 种类胡萝卜素混合标准液的 HPLC 色谱图

Fig. 4 HPLC profile of mixed standard solution of lycopene,β-carotene and lutein

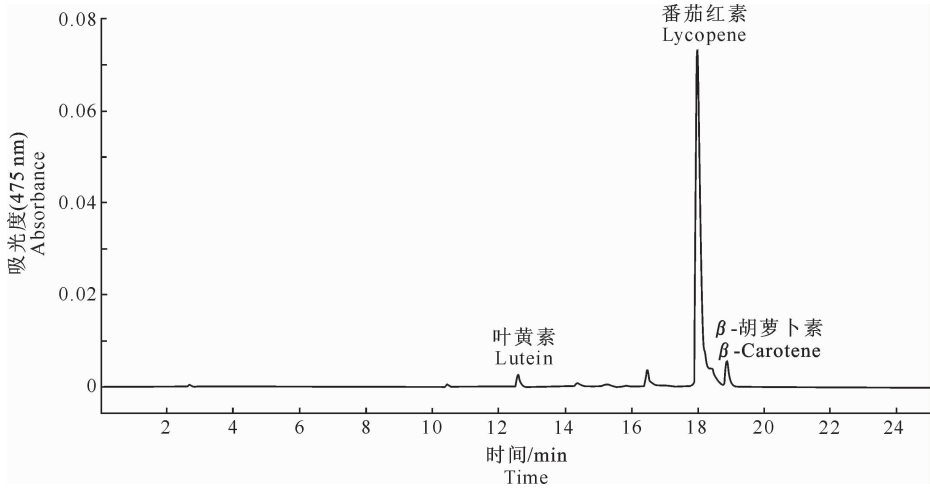


图 5 番茄果实萃取物的 HPLC 色谱图

Fig. 5 HPLC profile of extracts from tomato fruit

从图 4 和图 5 可以看出,番茄果实中主要的 3 种类胡萝卜素(番茄红素、β-胡萝卜素和叶黄素)均可以通过 HPLC 被分离出来,将各组分的峰面积与标准液进行比较,可以计算出各穗果的 3 种类胡萝卜素的含量。

2.2.1 番茄红素含量 番茄红素是在番茄中含量最多的一种类胡萝卜素,它是类胡萝卜素生物合成途径的中间产物,其他类胡萝卜素均由番茄红素衍生而成,其含量多少直接影响番茄的商品品质。由

图 6 可知,第一、二和三穗果的番茄红素含量分别为 4.000 ~ 72.253, 24.157 ~ 84.222 和 28.931 ~ 58.401 $\mu\text{g/g}$ 。各穗果番茄红素含量随施用钾肥量的增加,变化趋势基本一致,整体上呈先升高后降低的趋势。而第一穗果的 T1 与 T2 处理水平之间及 T3 与 T4 处理水平间的番茄红素含量无显著差异;第二穗果在 T1、T2 和 T3 处理水平下的番茄红素含量也无显著差异;第三穗果在 T1、T2、T3 和 T4 处理水平下的番茄红素含量差异均不显著。

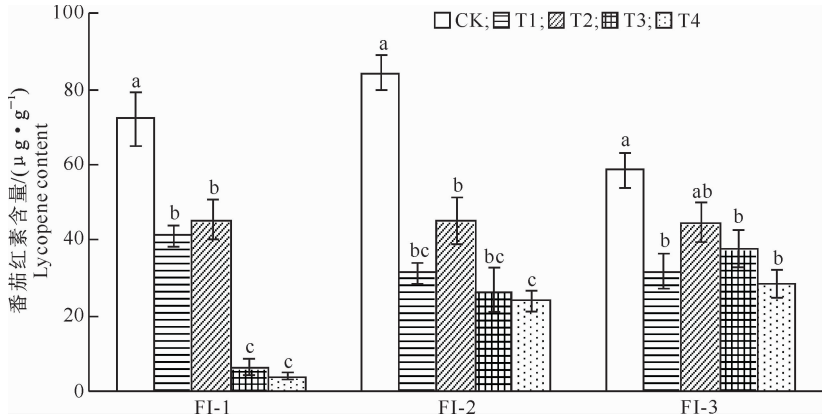


图 6 不同钾肥处理对番茄果实番茄红素含量的影响

Fig. 6 Effect of different potassium fertilizer treatments on lycopene content of tomato fruits

2.2.2 β-胡萝卜素含量 β-胡萝卜素是番茄中的另一种类胡萝卜素,在类胡萝卜素合成途径中由番茄红素环化而来。由图 7 可知,第一、二和三穗果的 β-胡萝卜素含量分别为 0.826 ~ 3.482, 2.162 ~ 3.681 和 2.098 ~ 2.667 $\mu\text{g/g}$ 。各穗果中 β-胡萝卜素的含量随钾肥处理水平的变化无明显的规律性。

2.2.3 叶黄素含量 叶黄素在类胡萝卜素合成途

径中由番茄红素经过另一途径环化而来,在番茄中的含量相对较少。由图 8 可知,第一、二和三穗果的叶黄素含量分别为 0.179 ~ 1.179, 0.723 ~ 1.252 和 0.713 ~ 1.004 $\mu\text{g/g}$ 。各穗果中叶黄素含量随钾肥处理水平的变化无明显规律性,其中第一穗果的叶黄素含量以 T2 处理最高,是 T3 处理的 6.59 倍;而第二穗果和第三穗果均以 T4 处理最高。

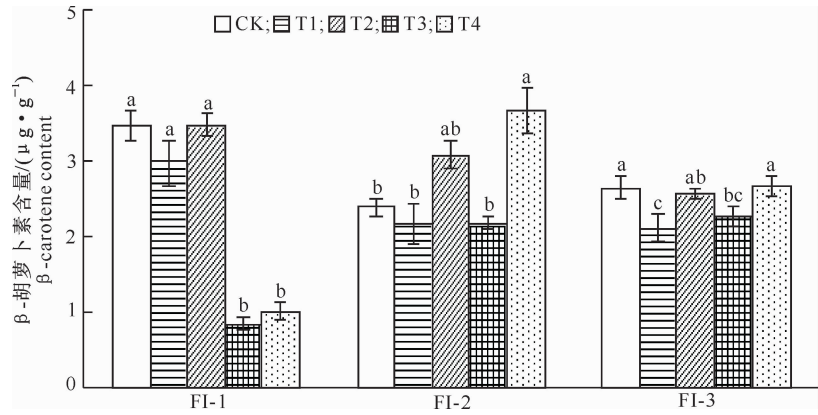


图 7 不同钾肥处理对番茄果实 β -胡萝卜素含量的影响

Fig. 7 Effect of different potassium fertilizer treatments on β -carotene content of tomato fruits

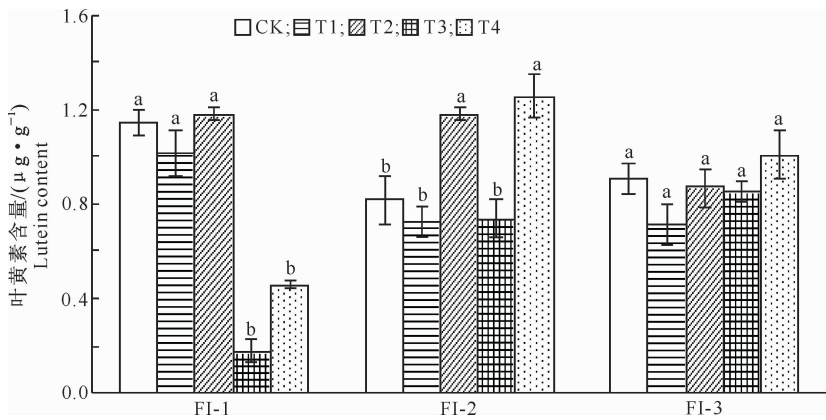


图 8 不同钾肥处理对番茄果实叶黄素含量的影响

Fig. 8 Effect of different potassium fertilizer treatments on lutein content of tomato fruits

2.3 钾肥处理和番茄果实 N、P、K 吸收量与类胡萝卜素含量的相关分析

表 1、2、3 分别为钾肥处理及第一至三穗果的 N、P、K 吸收量与类胡萝卜素含量的相关性计算结果,以此来说明钾肥处理与各穗果的类胡萝卜素含量的相关程度和方向。

由表 1 可知,钾肥处理与第一穗果的 3 种类胡萝卜素含量的相关系数绝对值均大于 0.7,且达到极显著水平。另外,第一穗果的钾吸收量与 3 种类胡萝卜素含量的相关性也达到极显著水平,而氮吸收量和磷吸收量与 3 种类胡萝卜素含量的相关性并不显著。

表 1 钾肥处理和第一穗果的 N、P、K 吸收量与类胡萝卜素含量的相关性分析

Table 1 Correlation analysis of treatments,N,P,K absorption and carotenoids content of the first infructescence							
指标 Index	钾肥处理 K treatment	N	P	K	LY	CA	LU
钾肥处理 K treatment	1.000						
N	-0.154	1.000					
P	0.171	0.507	1.000				
K	0.991**	-0.078	0.275	1.000			
LY	-0.868**	0.173	-0.217	-0.836**	1.000		
CA	-0.787**	0.371	-0.228	-0.770**	0.782**	1.000	
LU	-0.731**	0.260	-0.412	-0.733**	0.767**	0.966**	1.000

注: ** 表示在 $P=0.01$ 水平(双侧)上显著相关, * 表示在 $P=0.05$ 水平上显著相关。N. 穗果的氮吸收量;P. 穗果的磷吸收量;K. 穗果的钾吸收量;LY. 穗果的番茄红素含量;CA. 穗果的 β -胡萝卜素含量;LU. 穗果的叶黄素含量。下表同。

Note: ** indicates significant difference at $P=0.01$ level, * indicates significant difference at $P=0.05$ level. N. Nitrogen absorption of infructescence;P. Phosphorus absorption of infructescence;K. Potassium absorption of infructescence;LY. Lycopene content of infructescence;CA. β -carotene content of infructescence;LU. Lutein of infructescence. The same below.

由表 2 可知,钾肥处理与第二穗果的 3 种类胡萝卜素含量的相关关系中,只与番茄红素含量的相关性达到显著水平,相关系数为-0.741,与其他 2 种类胡萝卜素含量均未达显著水平,而且钾吸收量也只与番茄红素和 β -胡萝卜素含量显著相关。

表 2 钾肥处理和第二穗果的 N、P、K 吸收量与类胡萝卜素含量的相关性分析

Table 2 Correlation analysis of treatments, N, P, K absorption and carotenoid content of the second infructescence

指标 Index	钾肥处理 K treatment	N	P	K	LY	CA	LU
钾肥处理 K treatment	1.000						
N	0.425	1.000					
P	-0.284	0.007	1.000				
K	0.955**	0.651**	-0.147	1.000			
LY	-0.741**	0.040	0.234	-0.575*	1.000		
CA	0.487	0.470	-0.287	0.525*	-0.133	1.000	
LU	0.456	0.375	-0.227	0.485	-0.070	0.922**	1.000

表 3 钾肥处理和第三穗果的 N、P、K 吸收量与类胡萝卜素含量的相关性分析

Table 3 Correlation analysis of treatments, N, P, K absorption and carotenoid content of the third infructescence

指标 Index	钾肥处理 K treatment	N	P	K	LY	CA	LU
钾肥处理 K treatment	1.000						
N	0.743**	1.000					
P	0.244	0.459	1.000				
K	0.787**	0.759**	0.054	1.000			
LY	-0.580*	-0.108	0.009	-0.357	1.000		
CA	0.117	0.332	-0.315	0.462	0.355	1.000	
LU	0.268	0.400	-0.058	0.432	0.206	0.561*	1.000

2.4 钾肥处理和番茄穗果 N、P、K 吸收量与类胡萝卜素含量的通径分析

2.4.1 番茄红素 由表 4 可知,钾肥处理与各穗果的番茄红素含量的直接通径系数方向相同,均为负值,说明钾肥处理与番茄 3 个穗果的番茄红素含量都呈直接负相关。钾肥处理与第二穗果的番茄红素含量的直接通径系数的绝对值虽比第一穗果大,但是其与第二穗果的磷吸收量和钾吸收量的间接正效

由表 3 可知,钾肥处理只与第三穗果的番茄红素含量显著负相关,而与其 β -胡萝卜素和叶黄素含量的相关性未达显著水平。另外,第三穗果的氮、磷、钾吸收量与 3 种类胡萝卜素含量的相关性均不显著。

应较大,很大程度上抵消了其对第二穗果番茄红素含量的直接负效应。钾肥处理与第三穗果的番茄红素含量总的间接效应与第一、二穗果一样,均为正值,但直接通径系数与间接通径系数的绝对值都比第一、二穗果小。以上分析说明钾肥处理对每穗果的番茄红素含量为直接抑制作用,而通过每穗果的氮、磷、钾吸收量产生的对同一果穗的番茄红素含量的间接效应总体为促进效应。

表 4 钾肥处理对番茄不同穗果番茄红素含量影响的通径分析

Table 4 Path analysis on effects of potassium treatments on lycopene contents of different tomato infructescences

果实 Fruits	直接通径系数 Direct path coefficient	间接通径系数 Indirect path coefficient		
		N 吸收量 Nitrogen absorption	P 吸收量 Phosphorus absorption	K 吸收量 Potassium absorption
第一穗果 The first infructescence	-5.492	0.008	0.145	1.774
第二穗果 The second infructescence	-5.725	-1.911	2.947	2.667
第三穗果 The third infructescence	-1.053	0.294	-0.019	-0.192

表 1~3 显示,钾肥处理与番茄红素含量的相关系数绝对值大小为第一穗果>第二穗果>第三穗果,且钾肥处理及养分吸收与番茄红素的通径分析的回归模型拟合度也以第一穗果的 0.913 为最大,第二穗果为 0.868,而第三穗果为 0.579。说明钾肥及每穗果的养分吸收对相应果穗番茄中番茄红素含量的影响程度由第一穗果至第三穗果逐渐减弱。

2.4.2 β -胡萝卜素 由表 1~3 和表 5 可知,钾肥处理与第一穗果的 β -胡萝卜素含量的相关系数较大,达极显著水平,且与直接通径系数方向相同,均为负值,表明钾肥处理与第一穗果的 β -胡萝卜素含量呈直接负相关;而钾肥处理通过第一穗果的氮、磷、钾吸收量产生的总体间接作用为正值,对第一穗果的 β -胡萝卜素含量有间接促进作用。钾肥处理与

第二穗果的 β -胡萝卜素含量的相关系数为 0.487,但并未达显著水平,而其直接通径系数较小,仅为 0.277,明显小于其通过第二穗果的磷吸收量产生的间接通径系数,说明钾肥处理与第二穗果的 β -胡萝卜素含量间接正相关,但是促进效应并不明显。钾肥处理与第三穗果的 β -胡萝卜素含量的相关系数较

小,仅为 0.117,也未达显著水平,而其直接通径系数绝对值为 0.642,大于对第二穗果的 β -胡萝卜素含量的直接通径系数,这是由于其通过第三穗果的氮、钾吸收量的间接正效应为 0.324 和 0.398,抵消了其直接负效应。

表 5 钾肥处理对番茄不同穗果 β -胡萝卜素含量影响的通径分析

Table 5 Path analysis on effects of potassium treatments on β -carotene content of different tomato infructescences

果实 Fruits	直接通径系数 Direct path coefficient	间接通径系数 Indirect path coefficient		
		N 吸收量	P 吸收量	K 吸收量
		Nitrogen absorption	Phosphorus absorption	Potassium absorption
第一穗果 The first infructescence	-2.658	-0.534	0.132	0.760
第二穗果 The second infructescence	0.277	-0.592	1.097	0.003
第三穗果 The third infructescence	-0.642	0.324	-0.077	0.398

表 1~3 表明,虽然钾肥处理与第二和第三穗果的 β -胡萝卜素含量的相关性并不显著,但是相关系数绝对值大小也符合第一穗果>第二穗果>第三穗果的关系,而且钾肥处理及每穗果氮、磷、钾吸收量与各穗果 β -胡萝卜素含量的通径分析回归模型拟合度也以第一穗果的最大,为 0.788,第二穗果为 0.524,第三穗果的最小,为 0.362。说明钾肥及氮、磷、钾吸收对番茄 β -胡萝卜素含量的影响程度由第一穗果至第三穗果是逐渐减小的。

2.4.3 叶黄素 由表 1~3 和表 6 可知,钾肥处理与第一穗果的叶黄素含量的相关系数较大,达极显著水平,且与直接通径系数方向相同,均为负值,表明钾肥处理与第一穗果的叶黄素含量总体上呈直接

负相关关系。而钾肥处理通过第一穗果的氮、磷、钾吸收量产生的总体间接作用为正值,对第一穗果的叶黄素含量有间接促进作用,但被钾肥处理的直接负效应抵消。钾肥处理对第二穗果的叶黄素含量的直接通径系数与相关系数方向相反,且相关性不显著,这是由于其通过氮、磷、钾吸收量产生的间接正效应抵消了直接负效应,说明钾肥处理与第二穗果的叶黄素含量呈间接正相关,但是影响不明显。钾肥处理与第三穗果叶黄素含量的相关系数较小,仅为 0.268,且直接通径系数也较小,为负值,与相关系数方向相反,说明钾肥处理与第三穗果的叶黄素含量呈间接相关,且影响程度较小。

表 6 钾肥处理对番茄不同穗果叶黄素含量影响的通径分析

Table 6 Path analysis on effects of potassium treatments on lutein content of different tomato infructescences

果实 Fruits	直接通径系数 Direct path coefficient	间接通径系数 Indirect path coefficient		
		N 吸收量	P 吸收量	K 吸收量
		Nitrogen absorption	Phosphorus absorption	Potassium absorption
第一穗果 The first infructescence	-2.873	-0.531	0.190	0.876
第二穗果 The second infructescence	-0.735	0.174	1.336	0.584
第三穗果 The third infructescence	-0.253	0.167	-0.004	0.126

表 1~3 显示,钾肥处理与第二和第三穗果的叶黄素含量的相关性均小于第一穗果,而且钾肥处理及每穗果氮、磷、钾吸收量与各穗果叶黄素含量的通径分析回归模型拟合度也是第一穗果的最大,为 0.791,第二穗果为 0.274,第三穗果的最小,为 0.260。表明钾肥处理及每穗果氮、磷、钾吸收量对第一穗果叶黄素含量影响程度较高,而对第二、三穗果叶黄素含量的影响程度较低。

3 讨 论

钾是蔬菜生长必需的重要营养元素,一般蔬菜的钾素吸收量较大,且随着植株生长量的增大及生

长发育进程的发展而逐渐增高,在产量形成时期吸收量达到高峰^[3]。本试验研究表明,适宜的钾能促进番茄果实 N、P、K 的吸收,这与前人的研究结果一致^[3,19-20],但是最高养分吸收量对应的各穗果钾肥用量并不相同,如第一穗果的氮吸收量以 T2 处理最高,第二、三穗果均以 T4 处理最高;钾吸收量以第一穗果最高,且随钾肥用量的增加而呈上升趋势。这可能是由于随着时间的延长,钾肥的作用效力有所下降以及随着下部果实成熟、陆续被收获,养分从被收获与脱落的器官中淋失,或者因为果实由下部到上部干物质分配率逐渐减小^[21]。因此,若要评价钾肥用量的优劣还需要结合其他指标分析,如

产量、糖酸比等,而要想保证番茄每穗果实的养分吸收量一致,则必须随着每穗果的发育和膨大适时适量地施用钾肥。

类胡萝卜素在番茄果实中主要以番茄红素、 β -胡萝卜素和叶黄素的形式存在,是番茄品质评价的一项重要指标^[10-11,22]。本试验结果表明,钾肥的施用与番茄各穗果成熟果实的番茄红素积累直接负相关,且对每穗果番茄红素含量的影响程度随果实由下部至上部而减小。但 Aydin^[23]却发现钾肥不影响果实颜色。也有研究者认为,钾肥的施用与番茄红素的积累量呈正相关^[12-13],或是认为番茄红素合成随钾肥用量呈开口向上的抛物线型变化^[14],这可能与各研究的温度、光照环境条件和栽培介质肥力条件等不同有关,有待进一步深入研究。本研究中,钾肥处理与番茄第一穗果的 β -胡萝卜素含量呈直接负相关,而通过氮、磷、钾吸收产生的对第二、三穗果的 β -胡萝卜素含量的间接作用大于其直接作用。钾肥处理显著抑制番茄第一穗果的叶黄素含量积累,而对第二、三穗果的叶黄素含量积累只有间接促进作用,且程度较小。目前关于钾肥对植物 β -胡萝卜素、叶黄素含量影响的相关研究较少,陈义强等^[15]研究认为,随钾肥施用量增加,烤后烟叶中 β -胡萝卜素和叶黄素含量增加;也有研究者认为,当钾的吸收受抑制时,胡萝卜素的合成会相应减少^[24],这可能是由于作物种类、施用钾肥方式等不同所致,有待进一步研究。

此外,本试验结果表明,钾肥与 3 种类胡萝卜素的相关程度均随番茄果实果穗由下至上而减小。这可能与钾肥的就近供应原则,或随果实发育钾肥作用效力减小等原因有关。

4 结 论

1)适宜的钾肥用量能促进番茄每穗果的氮、磷、钾吸收,但是最高养分吸收量对应的每穗果的钾肥用量并不相同。

2)钾肥处理与番茄果实中番茄红素含量均显著负相关,且其相关程度随番茄果实果穗由下至上而减小。

3)钾肥处理只与番茄第一穗果的 β -胡萝卜素和叶黄素含量显著负相关,而对第二、三穗果的影响程度较小,且是通过氮、磷、钾吸收间接实现的。

[参考文献]

[1] 张继澍. 植物生理学 [M]. 北京:高等教育出版社,2006:69-70.

Zhang J S. Plant physiology [M]. Beijing: Higher Education Press,2006:69-70. (in Chinese)

[2] 谢建昌,周健民. 钾与中国农业 [M]. 南京:河海大学出版社,2000:186-203.

Xie J C,Zhou J M. Potassium in chinese agriculture [M]. Nan-jing:Hehai University Press,2000:186-203. (in Chinese)

[3] 张恩平,张淑红,李天来,等. 蔬菜钾素营养的研究现状与展望 [J]. 中国农学通报,2005,21(8):265-268.

Zhang E P,Zhang S H,Li T L, et al. Advance of research on potassium nutrition [J]. Chinese Agricultural Science,2005,21(8):265-268. (in Chinese)

[4] 吴国喜,陶 鸿,胡克玲,等. 钾肥对大棚番茄 Vc 和硝酸盐含量及相关酶活性的影响 [J]. 安徽农业科学,2007,35(8):225-226.

Wu G X,Tao H,Hu K L, et al. Effects of potassium fertilizer on vitamine C, nitrate content and related enzyme activities of tomato in greenhouse [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences,2007,35(8):225-226. (in Chinese)

[5] 马乔玲. 钾肥管理对加工番茄养分吸收、分配和产量品质的影响 [D]. 乌鲁木齐:新疆农业大学,2013.

Ma Q L. Potash fertilizer management on processing tomato nutrient absorption,distribution,and the influence of the production quality [D]. Urumqi:Xinjiang Agricultural University,2013. (in Chinese)

[6] 蔡智鸣,王 振,王枫华,等. 深色果蔬食品中番茄红素与 β -胡萝卜素的 HPLC 测定 [J]. 同济大学学报(医学版),2006,27(1):17-19.

Cai Z M,Wang Z,Wang F H, et al. Determ ination of lycopene and β -carotene in colour fruits and vegetables [J]. Journal of Tongji University(Medical Science),2006,27(1):17-19. (in Chinese)

[7] Ronen G,Carmel-Goren L,Zamir D, et al. An alternative pathway to β -carotene formation in plant chromoplasts discovered by map-based cloning of beta and old-gold color mutations in tomato [J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America,2000,97:11102-11107.

[8] Parry A D,Babiano M J,Horgan R. The role of cis-carotenoids in abscisic acid biosynthesis [J]. Planta,1990,182:118-128.

[9] 李福枝,刘 飞,曾晓希,等. 天然类胡萝卜素的研究进展 [J]. 食品工业科技,2007,28(9):227-232.

Li F Z,Liu F,Zeng X X, et al. The study of the natural carotenoid [J]. Science and Technology of Food Industry,2007,28(9):227-232. (in Chinese)

[10] 李纪锁,沈火林,石正强. 番茄红素的研究进展 [J]. 中国蔬菜,2007(1):58-60.

Li J S,Shen H L,Shi Z Q. Advance research of lycopene [J]. China Vegetables,2007(1):58-60. (in Chinese)

[11] 张上隆,陈昆松. 果实品质形成与调控的分子生理 [M]. 北京:中国农业出版社,2007:219-221.

Zhang S L,Chen K S. Molecular physiology of fruit quality development and regulation [M]. Beijing: China Agriculture Press,2007:219-221. (in Chinese)

- [12] 何楠,赵胜杰,刘文革,等.施用钾肥对西瓜番茄红素的影响研究[J].长江蔬菜,2008(12):21-22.
He N,Zhao S J,Liu W G,et al. Effect of potassium fertilizer on lycopene of mature watermelon [J]. Journal of Changjiang Vegetables,2008(12):21-22. (in Chinese)
- [13] 任彦,丁淑丽,朱凤仙,等.钾对番茄果实番茄红素合成的影响[J].北方园艺,2006(6):7-9.
Ren Y,Ding S L,Zhu F X,et al. Effect of potassium levels on lycopene content in tomato fruits [J]. Northern Horticulture, 2006(6):7-9. (in Chinese)
- [14] 牛晓丽,周振江,李瑞,等.水肥供应对番茄中番茄红素含量的影响[J].园艺学报,2011,38(11):2111-2120.
Niu X L,Zhou Z J,Li R,et al. Effects of water and fertilizer supply on lycopene content in tomato fruit [J]. Acta Horticulturae Sinica,2011,38(11):2111-2120. (in Chinese)
- [15] 陈义强,刘国顺,凌爱芬,等.氮、磷、钾肥和土壤水分对烟草烤后叶中类胡萝卜素含量的影响[J].植物生理学通讯,2008,44(2):279-282.
Chen Y Q,Liu G S,Lin A F,et al. Effect of nitrogen,phosphate,potassium fertilizers and soil water on carotenoids content of flue-cured(*Nicotiana tabacum* L.) leaves [J]. Plant Physiology Communications, 2008, 44(2): 279-282. (in Chinese)
- [16] 鲍士旦.土壤农化分析[M].北京:中国农业出版社,2000:265-270.
Bao S D. Soil agro-chemical analysis [M]. Beijing: China Agriculture Press,2000:265-270. (in Chinese)
- [17] 李敏.番茄红素提取及纯化的研究[D].乌鲁木齐:新疆农业大学,2007.
Li M. Study of the lycopene on extraction and purification [D]. Urumqi:Xinjiang Agricultural University,2007. (in Chinese)
- [18] 胡晓波,温辉梁,许全,等.番茄红素含量测定[J].食品科学,2005,26(9):566-569.
Hu X B,Wen H L,Xu Q,et al. Determination of lycopene's concent [J]. Food Science,2005,26(9):566-569. (in Chinese)
- [19] 齐红岩,李天来,富宏丹,等.不同氮钾施用水平对番茄营养吸收和土壤养分变化的影响[J].土壤通报,2006,37(2):268-272.
Qi H Y,Li T L,Fu H D,et al. Effects of different rates of nitrogen and potassium on nutrient levels in tomato and soil [J]. Chinese Journal of Soil Science,2006,37(2):268-272. (in Chinese)
- [20] 李文娟,何萍,金继运.钾素营养对玉米生育后期干物质和养分积累与转运的影响[J].植物营养与肥料学报,2009,15(4):799-807.
Li W J,He P,Jin J Y. Potassium nutrition on dry matter and nutrients accumulation and translocation at reproductive stage of maize [J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2009, 15(4):799-807. (in Chinese)
- [21] 朱晋宇,温祥珍,刘美琴,等.不同茬口日光温室番茄干物质生产与分配[J].园艺学报,2007,34(6):1437-1442.
Zhu J Y,Wen X Z,Liu M Q,et al. Tomato dry matter production and distribution on different crops in solar greenhouse [J]. Acta Horticulturae Sinica, 2007, 34(6): 1437-1442. (in Chinese)
- [22] Kuti J O,Konuru H B. Effects of genotype and cultivation environment on lycopene content in red-ripe tomatoes [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2005, 85: 2021-2026.
- [23] Aydin S. Effects of potassium fertilizer on some quality characters in processing tomato [J]. Anadolu,1996(6):75-83.
- [24] Paiva E A S,Sampaio R A,Martinez H E P. Composition and quality of tomato fruit cultivated in nutrient solution containing different calcium concentrations [J]. Journal of Plant Nutrition,1998,21(12):2653-2661.