

西瓜钾营养诊断的叶片含量法分析^①

王 硕¹, 吴 萍¹, 董 亚¹, 董彩霞¹, 任丽轩^{1,2*}, 沈其荣¹

(1 南京农业大学资源与环境科学学院/农业部长江中下游植物营养与肥料重点实验室/江苏省有机固体废物资源化协同创新中心, 南京 210095; 2 土壤与农业可持续发展国家重点实验室(中国科学院南京土壤研究所), 南京 210008)

摘 要: 采用不同土壤钾水平的多点田间试验, 研究了施用钾肥对西瓜植株钾含量以及产量、品质的影响, 探讨了西瓜植株各叶位钾含量与西瓜产量之间的相关性, 分析了叶片钾含量诊断西瓜钾营养的临界指标。结果表明: 西瓜新叶钾含量与西瓜产量达极显著相关关系, 相关系数为 0.600 8 ($P_{0.01} = 0.575$)。90% 相对产量下新叶钾含量为 32.6 g/kg 时, 西瓜产量可达 91.39 t/hm²。在极低钾含量 (50 mg/kg 和 70 mg/kg) 的土壤上, 施用钾肥显著提高西瓜产量、开花期西瓜植株新叶和老叶钾含量; 显著提高开花期、坐果期和膨大期西瓜植株茎和根中的钾含量。在低钾含量 (84 mg/kg 和 85 mg/kg) 的土壤上, 施用钾肥显著提高西瓜产量, 提高西瓜果实中的可溶性糖和可溶性固形物的含量而降低可滴定酸含量。随着钾肥施用水平的提高, 新叶钾含量有提高趋势, 老叶和挂果叶中的钾含量逐渐升高; 施用钾肥显著提高坐果期和膨大期西瓜植株茎中钾含量。在中钾含量 (170 mg/kg) 和高钾含量 (260 mg/kg) 的土壤上, 西瓜开花期新叶钾含量的最大值和最高产量相关联。总之, 推荐开花期西瓜新叶钾含量 32.61 g/kg 为营养诊断临界值。

关键词: 西瓜; 钾含量; 新叶; 营养诊断

中图分类号: S651

植物体内的营养状况是土壤供应、作物对养分需求和作物对养分吸收能力的综合体现^[1]。植物通过钾离子通道^[2]和钾转运蛋白^[3]吸收根际环境中的钾离子, 植物对钾的吸收依赖根际的钾浓度。在缺钾的环境中, 过低的根际钾含量会减弱根系对钾的吸收^[4-7], 施肥是提高根际钾含量和提高作物产量的重要方法。我国钾矿资源有限, 钾肥主要依靠进口^[8]。生产中需要简便易行的植物钾营养诊断方法, 以提高钾肥的施用效率。

国内外对植物的营养诊断起步较早的是氮素营养诊断。20 世纪 80 年代, Elliot 等^[9]证实小麦茎基部 NO₃-N 含量与植株体内 NO₃⁻ 浓度相关性很高。李志宏等^[10]针对我国北方地区集中主要作物推出了氮营养诊断, 并建立了追肥推荐体系。目前植物钾营养诊断方法有组织汁液阻抗法、荧光光谱分析法等^[11-12], 但这些方法在生产中难以操作。叶片钾营养诊断法在水稻、小麦和马铃薯等作物上都具有可行性^[13-15], 马铃薯叶柄钾浓度可以诊断马铃薯的钾营养状况^[14]。叶层间钾营养梯度法可以进行棉花上的钾营养诊断^[16], 在香蕉上利用叶位差法进行钾素

营养诊断^[17]。苹果叶片钾含量可以诊断苹果树的钾营养状况^[18-20]。西瓜是生育期短、需钾量大的水果类经济作物, 钾素营养及缺钾诊断尤为重要, 因此西瓜急需可靠、简便、易行的钾素营养诊断方法。本试验采用多点的田间试验, 在不同土壤钾水平下研究钾肥施用对西瓜各叶位钾含量的影响, 并研究叶片钾含量与西瓜产量、品质以及钾营养状况的关系, 探讨西瓜叶片钾营养诊断的可行性, 在理论研究的基础上探索西瓜叶片钾营养诊断方法。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验 1 于 2013 年 3—7 月在江苏省南京市江宁区横溪镇横岗村 (31°43'N, 118°45'E) 进行。采用小拱棚 (高 0.6 m, 宽 1.5 m) 种植, 西瓜苗为葫芦砧木苗, 接穗西瓜品种为小兰, 由南京蔬菜科技园提供, 土壤为粉质黏壤土, 共选取 3 块不同土壤钾含量的试验田, 试验地土壤基本理化性状见表 1。

试验 2 于 2014 年 4—7 月在江苏省盐城市进行,

基金项目: 国家公益性行业(农业)科研专项经费项目(201203013)和土壤与农业可持续发展国家重点实验室项目(Y412201438)资助。

* 通讯作者(lxren@njau.edu.cn)

作者简介: 王硕(1988—), 男, 安徽濉溪人, 硕士研究生, 主要研究方向为植物营养生理。E-mail: 2012103121@njau.edu.cn

试验点分别位于盐城大丰市草堰镇三元村(Site D)、(Site F)。西瓜品种为早佳-8424, 大棚设施栽培。各射阳县兴桥镇跃中村(Site E)、响水县南河镇兴南村 试验点土壤基本理化性状见表 2。

表 1 横溪西瓜试验田土壤基本理化性状
Table 1 The basic physical and chemical properties of Hengxi watermelon fields

西瓜田	有机质 (g/kg)	全氮 (g/kg)	碱解氮 (mg/kg)	速效磷 (mg/kg)	速效钾 (mg/kg)	pH
Site A	18.82	0.62	92.4	13.65	50	5.72
Site B	18.23	0.55	102.7	21.70	70	5.65
Site C	21.8	0.76	85.1	19.85	85	6.38

表 2 盐城试验点土壤基本理化性状
Table 2 The basic physical and chemical properties of Yancheng watermelon fields

试验点	地点	速效钾(mg/kg)	碱解氮(mg/kg)	速效磷(mg/kg)	pH	土壤类型
Site D	大丰	84	74	8.1	8.42	沙壤土
Site E	射阳	170	62	27.7	8.18	沙壤土
Site F	响水	260	90	15.2	8.64	沙黏土

1.2 试验设计

试验 1 设置 2 个处理：不施钾(K₀)；施钾，K₂O 450 kg/hm²(K₁)。每个处理施用氮肥(尿素, N%≥46.4%)360 kg/hm²，磷肥(过磷酸钙, P₂O₅%≥12%)150 kg/hm²。每个处理设置 3 个重复，每个小区面积 60 m²(宽 4 m, 长 15 m)，西瓜株距 40 cm，每个小区 35 株西瓜，小区随机区组排列。钾肥品种为硫酸钾(K₂O%≥51%)。2013 年 3 月 28 日将肥料混匀，采用沟施的方法将磷肥、60% 钾肥和 40% 氮肥作基肥施入试验田。氮肥和钾肥共分 3 次施入试验田，氮肥 3 次比例为 4:3:3，钾肥 3 次比例为 6:2:2，施肥时间分别为 3 月 28 日、4 月 30 日、5 月 14 日。除第一次采用沟施，后面两次均采用穴施追肥，且施肥穴距根部约 20 cm 处，穴深约 10 cm，穴口直径 20 cm，将肥料混匀后施入，覆土。田间管理同当地栽培大田生产管理。

试验 2 于 2014 年 4 月进行，共有 3 块试验田(Site D、Site E、Site F)。Site D 试验地点在大丰，施肥状况为农家粪 15 t/hm²，氮肥(尿素, N%≥46.4%)300 kg/hm²(以 N 计，下同)，磷肥(过磷酸钙, P₂O₅%≥12%)750 kg/hm²(以 P₂O₅ 计，下同)，钾肥(硫酸钾, K₂O%≥50%)(具体施用量见表 3)。氮肥和钾肥分基肥和两次追肥施入(4:3:3)。Site E 试验地点在射阳，施肥状况为商品有机肥 30 t/hm²，氮肥和磷肥同 Site A，钾肥(硫酸钾, K₂O%≥50%)(表 3)。Site F 试验地点在响水，施肥状况为有机肥(福州超大)10 t/hm²，氮肥和磷肥同 Site A，钾肥(硫酸钾, K₂O%≥50%)处理如表 3。氮肥和钾肥分基肥和两次追肥施入(4:3:3)。追肥分别在一茬瓜和二茬瓜的坐果期追肥，施肥深度 0.15 m，追肥采用离西瓜主根 15~25 cm 处穴施。栽培管理、整理方式等管理按照当地习惯。各个试验点的具体试验设置见表 3。

表 3 试验 2 设计
Table 3 Experiment designs of experiment 2

试验点	土壤速效钾 (mg/kg)	钾肥用量(K ₂ O, kg/hm ²)				小区面积 (m ²)	西瓜株数
		K ₀	K ₁	K ₂	K ₃		
Site D	84	0	105	157.5	210	30	44
Site E	170	0	150	225	300	30	30
Site F	260	0	75	150	225	90	110

1.3 样品采集与处理

试验 1，分别在西瓜发育的苗期、开花期、坐果期、膨大期和成熟期采集西瓜植株，分为根、茎、新叶、老叶、挂果叶、瓜皮、瓜瓢、瓜子，西瓜主茎上第 1、2、3 片叶为老叶；主茎和分枝的倒 1、2、3 片叶为新叶；基部结果的叶片为挂果叶，试验 2 同试

验 1。在 105℃ 下杀青 30 min，70℃ 烘至恒重，磨碎，待测。取去籽匀浆 40 g 左右瓜瓢，置于 -20℃ 冰箱中保存，用于品质测定。

试验 2，在西瓜开花期采集西瓜老叶、新叶和挂果叶测定钾含量，将采集的叶片 105℃ 杀青 30 min，70℃ 烘至恒重，磨碎，待测。

1.4 测定指标与方法

西瓜各部位全钾采用 H₂SO₄-H₂O₂ 消煮, 火焰光度计法测定^[21]; 西瓜品质分可溶性糖、可滴定酸: 可溶性糖采用蒽酮比色法测定^[22], 可滴定酸采用酸碱滴定法测定; 果实可溶性固形物采用 PAL-1 型电子折光仪测定。

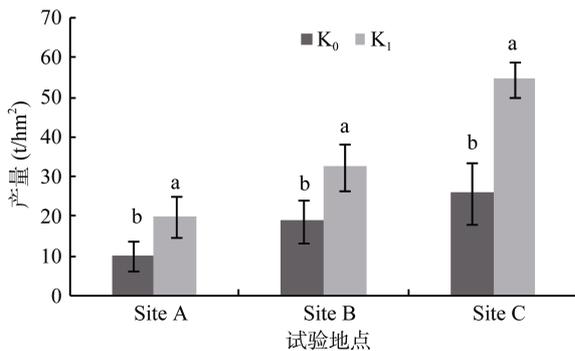
1.5 数据处理

应用 Microsoft Excel 2007、SPSS 20.0 软件进行数据分析。

2 结果与分析

2.1 不同钾水平土壤上施用钾肥对西瓜产量的影响

2.1.1 试验 1 图 1 为低钾水平的土壤上, 施用钾肥对西瓜产量的影响。在 Site A, Site B 和 Site C 试验地, 土壤供钾水平分别为 50, 70 和 85 mg/kg, 施用 450 kg/hm² K₂O 时, 都显著提高西瓜产量。说明 85 mg/kg 以下供钾水平, 不能满足西瓜生产对钾素的需要, 施用钾肥能够显著提高西瓜产量。



(图中小写字母不同表示同一试验点不同钾肥处理间差异达 P<0.05 显著水平, 下同)

图 1 低钾土壤施钾肥处理对西瓜产量的影响
Fig. 1 The effects of K treatments on watermelon yields of low-K soils

2.1.2 试验 2 表 4 表明在不同钾水平土壤施用钾肥对西瓜产量的影响。在 Site D, 84 mg/kg 土壤速效

钾含量的土壤上, 随着钾肥施用量的增加, 西瓜产量显著提高, 施用 210 kg/hm² K₂O 时获得最高产量, 施用 157.5 kg/hm² K₂O 时的产量与最高产量差异不显著。在 Site E, 170 mg/kg 速效钾含量土壤上, 施用钾肥显著提高西瓜产量, 而且施用 225 kg/hm² K₂O 时, 产量最高, 说明在该土壤条件下, 225 kg/hm² K₂O 为最佳钾肥施用量, 钾肥施用量提高到 300 kg/hm² K₂O 时, 产量不再提高。在 Site F, 260 mg/kg 速效钾含量的土壤上, 施用钾肥对西瓜产量无显著提高。说明该土壤条件下, 速效钾含量不是西瓜产量的限制因子。

表 4 不同钾水平土壤上施用钾肥对西瓜产量的影响(t/hm²)
Table 4 The effects of different K levels on watermelon yields

施钾量处理	Site D	Site E	Site F
K ₀	39.67 ± 0.88 c	42.09 ± 4.77 c	97.50 ± 6.20 a
K ₁	48.08 ± 0.37 b	55.09 ± 4.40 b	98.23 ± 4.53 a
K ₂	56.17 ± 2.64 a	67.90 ± 3.83 a	99.17 ± 5.50 a
K ₃	61.63 ± 5.50 a	64.37 ± 2.90 a	101.54 ± 3.38 a

注: 同列数据小写字母不同表示处理间差异达到 P<0.05 显著水平, 下表同。

2.2 不同钾水平土壤上施用钾肥对西瓜生长的影响

表 5 为不同钾水平土壤上施用钾肥对西瓜各生育期生物积累量的影响。在西瓜苗期, 钾肥的施用没有提高生物积累量。在膨大期和成熟期, 在各土壤供钾水平下施钾都显著提高西瓜的生物量。在开花期, 土壤供钾水平为 85 mg/kg(Site C)时, 施钾提高西瓜生物量。在坐果期, 土壤供钾水平为 50 和 85 mg/kg (Site A、Site B)时, 施钾显著提高西瓜生物量。钾肥施用效果与西瓜植株对钾的需求有关, 说明在膨大期和成熟期西瓜进入快速生长时期, 对钾的需要量增加, 土壤中钾的供应已经不能满足西瓜对钾素的需求量, 化肥钾对西瓜的生长和西瓜钾营养发挥了重要的作用。

表 5 不同钾水平土壤上施用钾肥对西瓜生物量的影响(g/株)

Table 5 The effects of potassium fertilization on watermelon biomasses in different available potassium levels in soils

试验点	钾水平	苗期	开花期	坐果期	膨大期	成熟期
Site A	K ₀	2.33 ± 0.48 a	17.25 ± 6.17 a	26.2 ± 9.8 b	82.4 ± 25.41 b	174.63 ± 30.37 b
	K ₁	2.78 ± 0.26 a	23.72 ± 0.1 a	46.04 ± 10.47 a	141.4 ± 10.88 a	391.57 ± 45.25 a
Site B	K ₀	2.33 ± 0.37 a	23.39 ± 3.06 a	66.89 ± 8.82 a	168.57 ± 27.87 b	554.41 ± 9.74 b
	K ₁	2.56 ± 0.57 a	24.56 ± 0.8 a	70.31 ± 1.75 a	223.84 ± 39.92 a	818.37 ± 13.62 a
Site C	K ₀	3.14 ± 0.03 a	27.87 ± 6.11 b	63.28 ± 5.75 b	229.09 ± 26.15 b	375.55 ± 72.29 b
	K ₁	2.73 ± 0.42 a	38.23 ± 3.65 a	85.66 ± 14.91 a	327.13 ± 37.27 a	525.47 ± 72.29 a

注: 表中小写字母不同表示同一试验点不同钾水平处理间差异达到 P<0.05 显著水平, 下表同。

2.3 不同钾水平土壤上施用钾肥对西瓜各部位钾含量的影响

2.3.1 试验 1 图 2 为低钾土壤上施用钾肥对开花期西瓜各叶位叶片钾含量的影响。在 50 和 70 mg/kg 土壤钾水平下(Site A 和 Site B)，施用 450 kg/hm² K₂O 显著提高西瓜老叶和新叶的钾含量，暗示了有

可能用老叶和新叶的钾含量指示西瓜是否需要施用钾肥。在 85 mg/kg(Site C)供钾水平的土壤上施用 450 kg/hm² K₂O 时,显著提高西瓜老叶的钾含量。该结果和试验 1 的结果一致,在 85 mg/kg 土壤钾水平的土壤上,西瓜老叶钾含量与西瓜植株的钾素供应呈正相关关系。

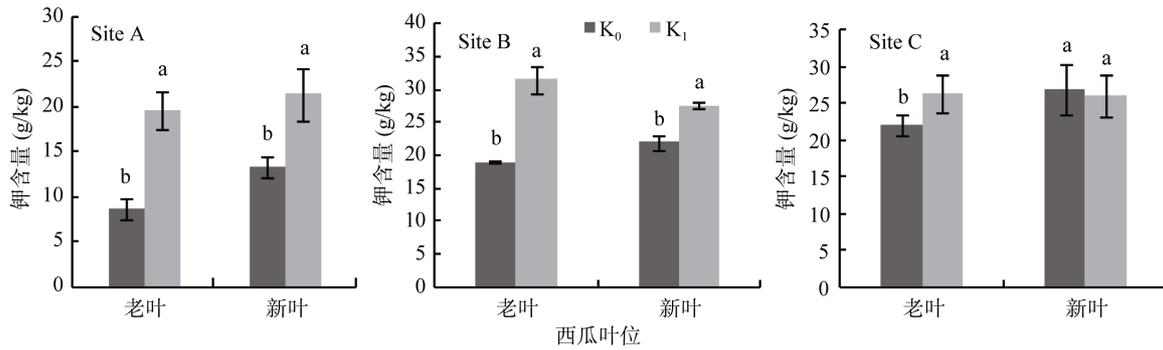


图 2 开花期施钾肥处理对西瓜各叶位叶片钾含量的影响

Fig. 2 The effects of K treatments on potassium contents in watermelon leaves in flowering period

表 6 为低钾土壤上施用钾肥对西瓜苗期、坐果期和膨大期各叶位叶片钾含量的影响。在坐果期,50 和 70 mg/kg(Site A 和 Site B)土壤钾水平下,老叶和新叶都对施用钾肥敏感,而 85 mg/kg 土壤钾水平下,老叶和新叶的钾含量对钾施用不敏感。所以坐果期在土壤钾含量 70 mg/kg 以下的土壤上,还可以采用叶片钾含量指示西瓜对钾肥的需求。在膨大期,50 mg/kg 供钾水平土壤上的西瓜新叶、老叶和挂果叶的钾含量

都对施用钾肥敏感。在 70 和 85 mg/kg(Site B 和 Site C)供钾水平的土壤上,老叶和挂果叶的钾含量对钾肥施用敏感。

表 7 表明低钾土壤上施用钾肥对西瓜各生育期根和茎中钾含量的影响。在 50 mg/kg(Site A)土壤钾水平下,西瓜各生育期的根和茎都对钾施用敏感。在 70 mg/kg(Site B)土壤钾水平下,西瓜在开花期的茎,以及坐果期和膨大期的根和茎都对钾肥施用敏感。在

表 6 施钾处理对西瓜各时期叶片钾含量的影响(g/kg)

Table 6 The effects of K treatments on potassium contents in watermelon leaves in different periods

试验点	钾水平	苗期		坐果期			膨大期	
		叶	新叶	老叶	新叶	老叶	挂果叶	
Site A	K ₀	10.6 ± 0.5 a	16.2 ± 0.8 b	8.0 ± 0.3 b	12.2 ± 1.2 b	8.9 ± 0.8 b	10.7 ± 2.6 b	
	K ₁	14.2 ± 1.5 a	22.4 ± 1.4 a	19.8 ± 2.0 a	26.7 ± 4.7 a	26.2 ± 2.2 a	32.1 ± 2.6 a	
Site B	K ₀	17.2 ± 1.3 a	16.5 ± 1.7 b	11.2 ± 0.4 b	20.1 ± 5.2 a	15.8 ± 4.2 b	19.2 ± 3.0 b	
	K ₁	21.9 ± 1.9 a	22.4 ± 0.6 a	23.2 ± 1.4 a	20.3 ± 1.9 a	21.4 ± 2.8 a	23.4 ± 1.3 a	
Site C	K ₀	16.7 ± 1.2 a	25.0 ± 2.9 a	25.3 ± 1.6 a	23.6 ± 3.0 a	19.7 ± 1.5 b	24.7 ± 1.2 b	
	K ₁	18.3 ± 0.9 a	25.6 ± 2.5 a	25.7 ± 4.9 a	26.9 ± 1.9 a	22.4 ± 2.0 a	29.1 ± 0.8 a	

表 7 施钾处理对西瓜根茎各时期钾含量的影响(g/kg)

Table 7 The effects of K treatments on potassium content in watermelon roots and stems in different periods

试验点	钾水平	苗期		开花期		坐果期		膨大期	
		根	茎	根	茎	根	茎	根	茎
Site A	K ₀	29.3 b	33.1 b	18.4 b	18.9 b	15.6 b	15.9 b	16.5 b	11.9 b
	K ₁	40.0 a	44.4 a	30.7 a	41.5 a	35.9 a	37.9 a	41.4 a	50.4 a
Site B	K ₀	38.0 a	44.3 a	40.2 b	47.0 b	21.6 b	22.0 b	41.7 a	28.5 b
	K ₁	35.1 a	51.5 a	55.4 a	69.7 a	41.5 a	46.6 a	43.7 a	44.2 a
Site C	K ₀	36.6 a	40.8 a	42.0 a	60.2 a	32.4 a	48.3 b	31.5 a	42.0 b
	K ₁	37.2 a	47.4 a	42.8 a	65.5 a	31.6 a	57.2 a	33.9 a	55.7 a

85 mg/kg(Site C)土壤钾水平下,只有坐果期和膨大期的茎对钾施用有显著的响应。根和茎在一定程度上也可以作为西瓜需钾状况的诊断部位。但是采用根或者茎作诊断部位时,是破坏性采样,会影响西瓜产量,在生产中实用性较差。

表 8 表明不同供钾水平的土壤上西瓜果实钾含量对施用钾肥的响应。在 50 mg/kg 钾水平的土壤(Site A)上,施钾显著提高西瓜各部分的钾含量。在

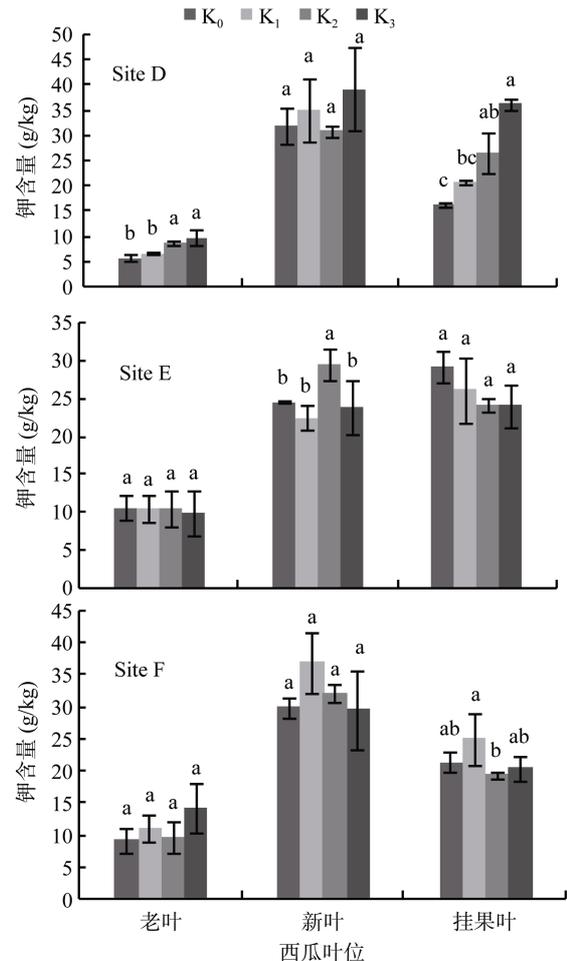
70 mg/kg 钾水平的土壤(Site B)上,膨大期西瓜的瓜皮和瓜瓤都显著响应钾肥施用。在成熟期,施钾显著提高瓜皮中钾含量。在 85 mg/kg 钾水平的土壤(Site C)上,西瓜在膨大期瓜皮和瓜瓤对施用 450 kg/hm² K₂O 无响应,在成熟期瓜瓤钾含量对施钾有显著响应。说明在 70 mg/kg 以下的土壤上施用钾肥显著提高西瓜瓜皮和瓜瓤中的钾含量,在 85 mg/kg 钾含量的土壤上,施用钾肥提高成熟期瓜瓤中的钾含量。

表 8 施钾处理对西瓜各时期果实各部位钾含量的影响(g/kg)
Table 8 The effects of K treatments on potassium contents in watermelon fruits in different periods

试验点	钾水平	膨大期		成熟期		
		瓜皮	瓜瓤	瓜皮	瓜瓤	瓜籽
Site A	K ₀	12.2 ± 3.4 b	14.6 ± 2.4 b	20.0 ± 4.8 b	13.0 ± 0.3 b	8.0 ± 0.8 b
	K ₁	45.5 ± 3.5 a	33.2 ± 2.1 a	38.9 ± 3.0 a	23.8 ± 4.2 a	11.7 ± 1.2 a
Site B	K ₀	24.9 ± 0.3 b	20.3 ± 1.5 b	21.6 ± 0.5 b	19.9 ± 2.0 a	8.7 ± 0.9 a
	K ₁	39.2 ± 3.3 a	32.6 ± 0.6 a	32.2 ± 2.0 a	23.1 ± 1.5 a	9.9 ± 1.2 a
Site C	K ₀	40.0 ± 1.6 a	32.4 ± 0.5 a	26.6 ± 1.8 a	27.2 ± 2.9 b	10.8 ± 0.6 a
	K ₁	41.6 ± 3.2 a	33.8 ± 4.4 a	31.0 ± 3.6 a	41.9 ± 0.6 a	9.5 ± 1.0 a

2.3.2 试验 2 图 3 表明不同施钾水平对西瓜各叶位叶片钾含量的影响。在土壤钾含量为 84 mg/kg 土壤上(Site D),随着施钾水平的提高,西瓜老叶的钾含量显著提高,新叶钾含量也有随着钾肥施用量提高而提高的趋势。说明在该水平供钾土壤上,随着钾肥施用量的提高,西瓜开花期老叶、新叶和挂果叶的钾含量都相应提高,新叶钾含量最高值出现在 K₃ 钾肥施用量。在土壤供钾水平为 170 和 260 mg/kg 的土壤上(Site E 和 Site F),施用各水平的钾肥对西瓜老叶的钾含量都没有显著影响,新叶钾含量有最高值,中钾水平下最高值在 K₂ 钾肥施用量,高钾水平下,新叶最高含量出现在 K₁ 钾肥施用量。说明在最适钾肥施用量下,西瓜新叶钾含量最高,过高或者过低的供钾水平都不利于提高西瓜新叶钾含量,土壤供钾水平越高,产生西瓜新叶钾含量最高值的钾肥施用量越低。说明土壤供钾水平、新叶中的钾含量和西瓜产量存在正相关关系。

2.3.3 西瓜开花期新叶叶片钾含量与产量之间的关系 图 4 表明西瓜开花期新叶叶片钾含量与产量之间的关系。在 6 个试验点的 18 个处理中,西瓜开花期新叶钾含量与西瓜产量之间的相关系数为 0.600 8, P_{0.05} = 0.456, P_{0.01} = 0.575。因此西瓜新叶钾含量与西瓜产量呈极显著的正相关关系。18 个处理的平均产量为 55.14 t/hm²,最高产量为 101.54 t/hm²,相对最高产量 90% 的产量为 91.39 t/hm²,根据产量与钾含量的相关关系,达到 90% 相对产量的西瓜新叶钾含量为 32.61 g/kg。因此西瓜开花期新叶钾含量可



(图中小写字母不同表示同一试验地相同叶位不同钾肥处理间差异达到 P<0.05 显著水平,下同)

图 3 施用不同水平钾肥对西瓜各叶位叶片钾含量的影响
Fig. 3 The effects of different K levels on potassium contents in watermelon different leaves

以诊断西瓜钾营养状况，以及预测西瓜产量，推荐 32.61 g/kg 的新叶钾含量作为西瓜钾营养的临界值。

2.4 不同土壤钾水平下施用钾肥对西瓜品质的影响

2.4.1 不同钾水平的土壤上施用钾肥对西瓜果实可滴定酸和可溶性糖的影响 图 5 表明,在试验 1 中,土壤供钾水平为 50 和 70 mg/kg 时(Site A 和 Site B),施钾对果实中的可滴定酸无影响,在 85 mg/kg(Site C)的土壤供钾水平上,西瓜果实可滴定酸含量因施钾而降低。土壤供钾水平为 50 和 70 mg/kg 时(Site A 和 Site B),施钾对果实中的可溶性糖无影响,在 85 mg/kg(Site C)的土壤供钾水平上,西瓜果实可溶性糖含量显著提高。说明在低钾土壤上,施用 450 kg/hm² K₂O

提高西瓜品质。

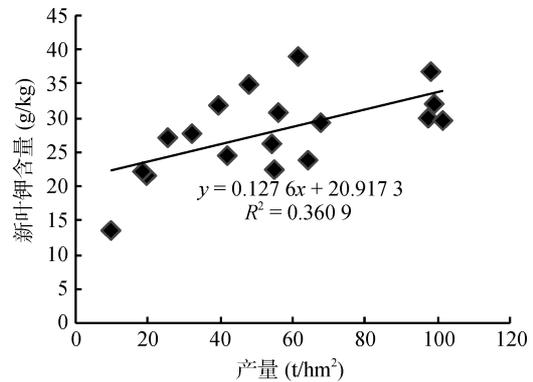


图 4 西瓜开花期新叶叶片钾含量与产量之间的关系
Fig. 4 The relationship between new leaf potassium content and yield in watermelon flowering period

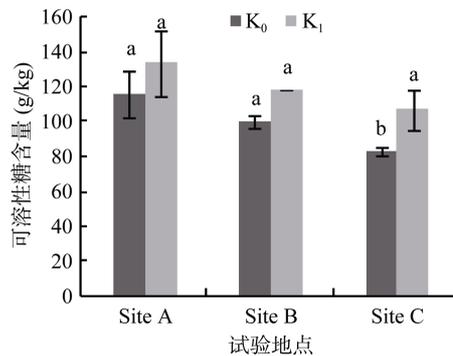
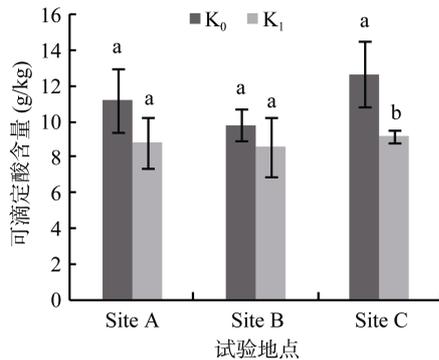


图 5 施钾处理对西瓜品质的影响
Fig. 5 The effects of K treatments on watermelon qualities

2.4.2 不同钾水平的土壤上施用钾肥对西瓜果实可溶性固形物的影响 图 6 表明,在高中低钾水平的土壤上(试验 2),随着施钾水平的提高,西瓜果实中的可溶性固形物含量逐渐提高。在土壤供钾水平为 84 mg/kg (Site D)时,钾肥施用量为 157.5 kg/hm²时,西瓜果实中的可溶性固形物含量已经达到最高水平。在土壤供钾水平为 170 和 260 mg/kg(Site E 和 Site F)时,钾施用量为 225 kg/hm²时,西瓜果实中的可溶性固形物

含量最高。在高钾水平土壤上,西瓜果实中的可溶性固形物含量最高,施用钾肥进一步提高果实中的可溶性固形物含量,提高西瓜品质。

3 讨论和结论

3.1 土壤供钾水平、西瓜叶片钾含量与西瓜产量之间的关系

土壤速效钾含量是评价土壤钾对当季植物供钾状况的主要指标^[23],土壤供钾水平与植物钾营养、作物产量以及施用钾肥效果密切相关^[24]。在果树上,叶片钾营养诊断已经被应用^[18-20,26-27],李港丽等^[25]通过田间试验获得果树叶内矿质元素含量标准值。钾在植物体内是容易移动的元素,当土壤供钾不足时,有限的钾素优先供应新叶及生长点,所以植物的老叶先出现缺钾症状,当土壤供钾严重不足时,不仅老叶受缺钾影响,新叶中的钾素供应也不能满足。

西瓜的生育期较短,根据西瓜钾含量来进行营养诊断需要考虑诊断时期和诊断部位^[28]。本研究结果表明,在土壤供钾水平极低的条件下(50 mg/kg 和 70 mg/kg),西瓜老叶和新叶的钾含量都对施用钾肥

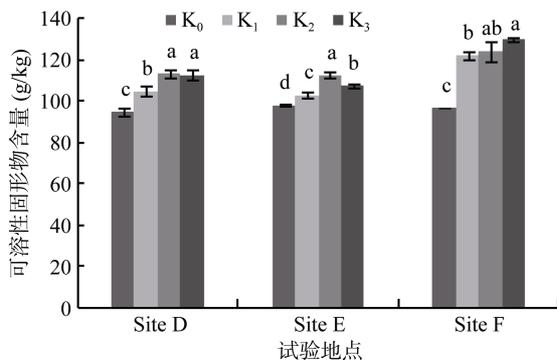


图 6 施钾水平对西瓜可溶性固形物的影响
Fig. 6 The effects of different K levels on watermelon soluble solids

敏感,说明不施钾时老叶和新叶都处于缺钾状态。在土壤低钾水平下(84 mg/kg 和 85 mg/kg),西瓜新叶和老叶的钾含量都比极低钾水平土壤上的西瓜叶片钾含量高,施用钾肥后,老叶和新叶钾含量提高,而且随着钾肥施用水平的提高而提高,说明在土壤低钾供应水平下,西瓜老叶、新叶和挂果叶钾含量都随钾肥施用量的提高而提高,最高产量和新叶钾含量最高值都产生于最高钾肥施用量(图 3, SiteD)。中钾供应水平的土壤上,西瓜最高产量和新叶钾含量最高值都出现在 K_2 钾肥施用量。在高钾供应水平下,西瓜最高产量和新叶最高钾含量都出现在 K_1 钾肥施用量。这一结果与宋桥生等^[5]研究结果相一致,随着 K_2O 用量的上升,西瓜产量增加,当 K_2O 用量达到 360 kg/hm² 时,钾肥的增产幅度降低。叶片钾含量指示了作物的钾营养状况,也显著影响作物的产量,金珂旭^[29]研究表明莴笋旺长期老叶钾含量与莴笋生物量有显著的相关性,推荐该期老叶的钾含量作为莴笋钾营养的诊断指标。西瓜叶片的钾含量与西瓜产量正相关,施用钾肥提高根际土壤速效钾含量^[30],提高西瓜对钾的吸收量^[31],从而提高西瓜产量。施用有机资源钾肥提高西瓜叶片钾含量,并显著提高西瓜产量^[32],而且西瓜叶片钾含量是西瓜钾效率基因型筛选的重要指标^[33-34]。本试验在 6 个试验点的研究表明,西瓜开花期新叶钾含量和西瓜产量之间具有极显著的相关关系,西瓜新叶钾含量为 32.61 g/kg 时,西瓜产量可达最高产量的 90%,推荐西瓜开花期新叶作为西瓜钾营养的诊断部位,钾含量的临界值为 32.61 g/kg。

3.2 磷营养对西瓜钾吸收的促进作用

研究表明,植物对磷和钾的吸收具有互作效应,施用磷肥能显著提高大豆对钾的积累量^[35],缺磷显著降低甘薯叶柄和茎的钾含量^[36]。施用磷肥可以提高大豆对钾素的积累量以及提高大豆对钾的利用效率^[37]。烤烟缺磷也引起钾含量降低而降低烤烟品质^[38]。本研究表明,土壤供磷水平的提高促进西瓜对钾的吸收,提高西瓜叶片中钾含量。在低钾的土壤上,西瓜对钾的吸收也受土壤供磷水平的影响。在试验 1 中,西瓜老叶中的钾含量随着土壤供钾水平的提高而升高,在 Site B 和 Site C 的土壤上也具有较高的供磷水平。所以土壤磷水平和土壤钾水平都与西瓜叶片中老叶钾含量正相关。Site A 土壤速效磷含量低于 Site B 和 Site C,图 2 中可见,Site A 不施钾处理的老叶钾含量在 8.6 g/kg,而 Site B 和 Site C 分别为 19.2 g/kg 和 22.2 g/kg,Site A 老叶钾含量低于 Site B 和 Site C 老叶钾含量(试验 1)。在试验 2 中,土壤的供磷水平

低时,不施钾时西瓜叶片中的钾含量也相应较低,尤其在低钾水平的土壤上(Site D),老叶钾含量仅为 5 g/kg 左右;随着土壤钾水平的提高,西瓜老叶中的钾含量有所提高(图 3)。因此,土壤速效磷含量高时可以促进西瓜叶片钾素吸收。

总之,西瓜叶片中的钾含量,尤其新叶中的钾含量与西瓜钾营养及西瓜产量具有极显著的正相关关系,可以用来诊断西瓜钾营养状况。西瓜新叶和老叶中的钾含量高低还受土壤磷水平的影响,土壤磷水平高时,西瓜新叶和老叶中的钾含量相应较高。

参考文献:

- [1] 郭建华,赵春江,王秀,陈立平. 作物氮素营养诊断方法的研究现状及进展[J]. 中国土壤与肥料, 2008(4): 10-14
- [2] 李娟. 水稻钾离子通道 OsAKT1 及其调控因子参与水稻钾吸收的实验证据(博士学位论文)[D]. 北京: 中国农业大学, 2014: 18-26
- [3] Yang TY, Zhang S, Hu YB, Wu FC, Hu QD, Chen G, Cai J, Wu T, Nava M, Yu L, Xu GH. The Role of a potassium transporter OsHAK5 in potassium acquisition and transport from roots to shoots in rice at low potassium supply levels[J]. Plant Physiol., 2014, 166: 945-959
- [4] Locascio SJ, Hochmuth GJ. Watermelon production as influenced by lime, gypsum and potassium[J]. Hortscience, 2002, 37(2): 322-324
- [5] 宋桥生,陈钢,吴礼树,易妍睿,丁鸣,李煜华,孙玉红. 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
- [6] 孟爱红,崔世明,杨宜生,王浩,王华. 氮钾肥用量对西瓜产量及品质的影响[J]. 长江蔬菜, 2013(4): 55-57
- [7] 杜少平,马忠明,薛亮. 密度、氮肥互作对旱砂田西瓜产量、品质及氮肥利用率的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2013, 19(1): 150-157
- [8] 鲍荣华,亓昭英,周大通. 钾盐资源及钾肥供需情况分析及预测[J]. 磷肥与复肥, 2013, 28(2): 1-5
- [9] Elliott D, Reuter D, Growden B. Improve strategies for diagnosing and correcting nitrogen deficiency in spring wheat[J]. Plant Nutr., 1987, 10 (9-16): 1 761-1 770
- [10] 李志宏,张福锁,王兴仁. 我国北方地区集中主要作物氮营养诊断及追肥推荐研究 IV 冬小麦-夏玉米轮作制度下氮素诊断及追肥推荐的研究[J]. 植物营养与肥料学报, 1997, 3(4): 357-362
- [11] 刘洋,王涛,吴海云,左月明. 基于叶片组织汁液阻抗的玉米钾营养状况监测[J]. 农业机械学报, 2013, 44(1): 185-189
- [12] 乔建磊,肖英奎,于海业,张蕾,张艳平. 基于荧光光谱分析的马铃薯叶片钾素营养检测研究[J]. 中国农机化学报, 2013, 34(1): 91-94
- [13] 陈智慧,王火焰,周健民,安林林,陈小琴,杜昌文. 不同钾素水平对水稻不同部位含钾量的影响[J]. 土壤, 2013, 45(3): 489-494

- [14] 康文钦, 石晓华, 敖孟奇, 秦永林, 樊明寿. 马铃薯的钾素需求及营养诊断[J]. 中国土壤与肥料, 2013(2): 1-4
- [15] 安林林, 王火焰, 董彩霞, 陈智慧. 小麦体内钾含量变化特征及诊断叶、鞘位的研究[J]. 土壤, 2014, 46(3): 475-480
- [16] 汤小仪, 罗文华, 郑泽荣. 棉花钾素营养早期诊断的初步研究[J]. 中国棉花, 1983(6): 18-19
- [17] 梁孝衍, 苗青. 应用叶位差诊断香蕉钾素营养的研究[J]. 植物营养与肥料学报, 1995(1): 65-71
- [18] 刘红霞, 张会民, 郭大勇, 王留好, 王旭刚, 孙丽蓉, 寇太记. 豫西地区红富士苹果叶片营养诊断[J]. 植物营养与肥料学报, 2009, 15(2): 457-462
- [19] 郭全恩, 郭天文, 王益权, 马忠明, 刘军, 南丽丽. 甘肃省干旱地区苹果叶片营养和土壤养分相关性研究[J]. 土壤通报, 2009, 4(1): 114-117
- [20] 刘小勇, 王发林, 张坤, 董铁, 张辉元, 马明. 两个苹果品种不同枝类叶营养含量年周期变化及营养诊断方法研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2014, 20(2): 481-489
- [21] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3版. 北京: 中国农业出版社, 2005: 270-271
- [22] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2003: 202-204
- [23] 金继运. 土壤钾素研究进展[J]. 土壤学报, 1993, 30(1): 94-101
- [24] 鲁艳红, 廖育林, 罗尊长, 黄铁平, 鲁剑巍, 聂军. 湖南省油菜施钾效应及土壤速效钾临界值研究[J]. 作物研究, 2011, 25(1): 26-29
- [25] 李港丽, 苏润宇, 沈隽. 几种落叶果树叶内矿质元素含量标准值的研究[J]. 园艺学报, 1987, 14(2): 81-89
- [26] 范元广. 辽西地区‘富士’苹果叶矿质元素含量适宜值及叶营养诊断初步研究(硕士学位论文)[D]. 北京: 中国农业科学院, 2014: 22-28
- [27] Jayabaskaran KJ, Pandey SD, Mustafa MM, Sathiamoorthy S. Diagnosis and recommendation integrated system for monitoring status of nitrogen, phosphorus and potassium of ‘Nendran’ banana (*Musa × paradisiaca*)[J]. The Indian Journal of Agricultural Sciences, 2005, 75(7): 432-434
- [28] 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
- [29] 金珂旭. 不同供钾水平茼蒿笋钾氮磷吸收特性和钾素诊断研究(硕士学位论文)[D]. 重庆: 西南大学, 2014: 41-44
- [30] 高晶霞, 谢华, 崔静英, 王学梅, 赵云霞, 颜秀娟. 生物菌剂对西瓜生长发育及产量的相关性研究[J]. 北方园艺, 2015(5): 31-33
- [31] 王西和, 刘骅, 张炎, 胡伟. 不同钾营养水平对西瓜产量及品质的影响[J]. 新疆农业科学, 2010, 47(10): 2 001-2 004
- [32] 赵鹏, 董彩霞, 申长卫, 雷锡琼, 王硕, 任丽轩, 沈其荣. 3种有机无机肥配施对西瓜氮、钾养分吸收以及产量和品质的影响[J]. 南京农业大学学报, 2015, 38(2): 288-294
- [33] 吴萍, 董亚, 王硕, 董彩霞, 任丽轩, 沈其荣. 西瓜营养生长期钾素吸收效率的差异评价及钾高效基因型筛选[J]. 南京农业大学学报, 2015, 38(4): 602-609
- [34] 赵露. 不同钾效率基因型西瓜幼苗响应缺钾的生理机制研究(硕士学位论文)[D]. 武汉: 华中农业大学, 2014: 19-24
- [35] 王文启, 马凤鸣, 戴建军, 孟凡钧. 磷复肥对大豆养分积累和产量影响的研究[J]. 现代化农业, 2003(7): 12-13
- [36] 宁运旺, 马洪波, 许仙菊, 汪吉东, 张辉, 许建平, 陈杰, 张永春. 氮磷钾缺乏对甘薯前期生长和养分吸收的影响[J]. 中国农业科学, 2013, 46(3): 486-495
- [37] 向达兵, 郭凯, 杨文钰, 雷婷, 张静, 罗庆明. 磷、钾营养对套作大豆钾素积累及利用效率的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2010, 16(3): 668-674
- [38] 丁博锐, 杨焕文, 李佛琳, 段树苍, 陈茂建, 李成杰, 易建华. 氮磷钾互作对烤烟主要农艺性状的影响[J]. 云南农业大学学报, 2011, 26(4): 499-505

Evaluation of Potassium Nutrition by Potassium Content in Watermelon Leaf

WANG Shuo¹, WU Ping¹, DONG Ya¹, DONG Cai-xia¹, REN Li-xuan^{1,2*}, SHEN Qi-rong¹

(1 College of Resources and Environmental Sciences, Nanjing Agricultural University/Key Laboratory of Plant Nutrition and Fertilizer (Middle and Lower Reaches of Yangtze River), Ministry of Agricultural/Organic Solid Wastes Resource Synergy Innovation Center, Jiangsu Province, Nanjing 210095, China; 2 State Key Laboratory of Soil and Sustainable Agriculture (Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences), Nanjing 210008, China)

Abstract: Six field experiments were carried out to investigate the effects of potassium fertilizer management on watermelon yield and quality in the fields with very low, low, middle and high potassium concentration. The relationships between the leaf potassium concentration and yield and quality of watermelon were studied. The threshold potassium concentration in leaf was recommended to evaluate potassium nutrition in watermelon. Potassium concentration in watermelon young leaves was significantly positive correlated to watermelon yield ($R^2=0.6008$, $P<0.01$). Potassium content was 32.6 g/kg in watermelon young leaves when watermelon yield (91.39 t/hm^2) was up to 90% of the highest yield. In soils with very low potassium levels (50 mg/kg and 70 mg/kg), K fertilization significantly enhanced watermelon yield. K content in young and old leaves at flowering stage, as well as increased K content in stem and root at flowering stage, fruit forming stage and fruit expanding stage. In soils with low potassium levels (84 mg/kg and 85 mg/kg), K fertilization significantly improved watermelon yields, concentrations of soluble sugar and soluble solid substance in fruits, while decreased titratable acid concentration in fruits. K concentration in young leaves, old leaves and leaves close to fruits was increased with the increase of K fertilizer quantity. Potassium concentration was increased in stems at fruit forming stage and fruit expanding stage. In soil with middle and high potassium levels (170 mg/kg and 260 mg/kg), the significant correlation was observed between the maximum watermelon yield and the highest K concentration in young leaves. K content of 32.61 g/kg was recommended as threshold in young leaves at flowering stage.

Key words: Watermelon; Potassium content; Young leaf; Nutrition diagnosis