

网络出版时间:2013-07-18 16:03

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1390.S.20130718.1603.027.html>

水钾耦合对大棚厚皮甜瓜产量和可溶性固形物含量的影响

赵志华¹, 李建明¹, 张大龙¹, 马 亮¹, 贾笑蕊², 徐 菲¹, 李 俊¹

(1 西北农林科技大学 园艺学院, 陕西 杨凌 712100; 2 西安石油大学 计算机学院, 陕西 西安 710000)

【摘 要】 【目的】研究滴灌条件下灌水下限与施钾量耦合对大棚厚皮甜瓜产量和可溶性固形物含量的影响。**【方法】**以厚皮甜瓜“一品天下 208”为材料, 采用二因素二次通用旋转组合设计, 通过塑料薄膜隔离小区栽培, 分别建立产量、可溶性固形物含量与灌水下限和施钾量的回归模型, 并分析灌水下限和施钾量 2 因素的耦合效应。**【结果】**灌水下限、施钾量对甜瓜产量和可溶性固形物含量均有显著影响。在本试验条件下, 施钾量对产量和可溶性固形物含量的影响均大于灌水下限; 二者对甜瓜产量和可溶性固形物含量有交互效应, 其中对产量的影响为负交互作用, 对可溶性固形物含量的影响为正交互作用。当灌水下限为 64%~69%, 施 K_2O 395~450 kg/hm² 时, 甜瓜产量高、品质好, 产量和可溶性固形物含量分别可达 41 800 kg/hm² 和 15.9%。**【结论】**充分利用灌水下限和施钾量的耦合效应可以保证甜瓜的高产、优质。

【关键词】 水钾耦合; 塑料大棚; 厚皮甜瓜; 产量; 可溶固形物; 回归模型

【中图分类号】 Q945.12; S652

【文献标志码】 A

【文章编号】 1671-9387(2013)08-0161-07

Interactive effects of water and potassium on yield and soluble solid content of plastic greenhouse muskmelon

ZHAO Zhi-hua¹, LI Jian-ming¹, ZHANG Da-long¹,

MA Liang¹, JIA Xiao-rui², XU Fei¹, LI Jun¹

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

2 College of Computer Science, Xi'an Shiyou University, Xi'an, Shaanxi 710000, China)

Abstract: 【Objective】 This experiment was carried out to elucidate the effects of irrigation low limit and potassium coupling on the yield and soluble solid content of plastic greenhouse muskmelon under drip irrigation. **【Method】** In order to separately model the relation of yield and soluble solid content with water low limit and potassium, and analysis them, we adopted the central composite rotatable design and planted muskmelon in test plots segregated by plastic film. **【Result】** We separately got the prominent models of yield and soluble solid content under the coupling irrigation low limit and potassium. Both yield and soluble solid content were influenced by potassium more than by water. Both the two factors had interacted effects on yield (negative) and soluble solid content (positive). When irrigation low limit was from 64% to 69% and potassium was from 395 kg/hm² to 450 kg/hm², a higher yield of 41 800 kg/hm² and a higher soluble solid content of 16.7% were obtained. **【Conclusion】** Taking full advantage of the coupling of water low limit and potassium obtained high yield and good quality.

* [收稿日期] 2012-11-02

[基金项目] 国家“十二五”科技支撑计划项目(2011BAD12B03-03)

[作者简介] 赵志华(1986—), 男, 河南滑县人, 硕士, 主要从事设施作物生理生态研究。E-mail: 1986zhaozhihua@163.com

[通信作者] 李建明(1966—), 男, 陕西洛川人, 教授, 博士, 博士生导师, 主要从事设施园艺研究。E-mail: lijianming66@163.com

Key words: water-potassium coupling; plastic greenhouse; muskmelon; yield; soluble solid content; regression model

甜瓜品种多样、营养丰富,被医学界冠名为“消暑热、解烦渴、利小便”的果中佳品,因此广受消费者的喜爱^[1]。甜瓜是重要的设施栽培作物之一,随着种植业结构的调整,甜瓜种植面积逐年增大,然而瓜农对于甜瓜温室化栽培的水肥管理存在很大的盲目性^[2]。因此,水肥调控一直是设施作物栽培管理方面的研究热点。水肥耦合技术是实现水肥调控高效化的一项综合技术,采用这项技术可以提高甜瓜的水分和养分利用率^[3]。目前,对甜瓜最佳灌水定额的研究比较少,如李毅杰等^[4]研究表明,灌水下限为65%~70%时,有利于甜瓜产量和品质的提高。在氮、磷、钾肥3要素中,钾肥对甜瓜产量和品质的影响较大。钾肥不足的植株抗性差、产量低、品质劣;但施入钾过多,则会导致肥料利用率低下、加速土壤盐渍化^[5-8]。而有关灌水与钾肥对甜瓜的交互效应知之更少。本研究采用滴灌和沟施肥的水肥调控方式,分析灌水下限、施钾量与甜瓜产量及品质的关系,以期对甜瓜高产栽培提供定量化的水肥管理指导。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验于2011-07—2012-07在西北农林科技大学北校区园艺场4号塑料大棚内进行。试验位于东经108°04′,北纬34°20′,该区属暖温带季风半湿润气候,年平均气温12.9℃,无霜期220 d,日照时数2 196 h。试验用大棚长45 m,宽7.8 m,高3.5 m,南北走向,覆盖华盾牌无滴聚乙烯薄膜。

本试验共计春秋两茬,秋茬于2011-07-10进行,春茬于2012-03-07进行。秋茬试验田土壤理化

性质为:土壤体积质量1.38 g/cm³,最大田间持水量24.6%,有机质14.39 g/kg,碱解氮91.83 mg/kg,速效磷19.07 mg/kg,速效钾98.35 mg/kg,pH值7.5。春茬试验田土壤理化性质为:土壤体积质量1.38 g/cm³,最大田间持水量24.3%,有机质14.27 g/kg,碱解氮89.94 mg/kg,速效磷19.15 mg/kg,速效钾101.07 mg/kg,pH值7.5。

1.2 材料

供试甜瓜品种为厚皮甜瓜“一品天下208”,超早熟、抗病性强,种子由陕西杨凌千普农业开发有限公司提供。

供试肥料为昆仑牌尿素(含N 46.4%)、昆阳牌过磷酸钙(含P₂O₅ 16%)和罗布泊牌农业用硫酸钾(含K₂O 51%)。

1.3 试验方法

1.3.1 试验设计 本试验以土壤灌水下限(X₁)和施钾量(X₂)2个因子为试验因素,采用二因素(1/2实施)二次回归通用旋转组合设计,共9个处理,每处理6个重复。试验采用高垄栽培,垄高15 cm,垄宽80 cm,垄长600 cm,小区之间埋深70 cm的塑料薄膜,以防小区间水肥相互渗透。小区面积为4.8 m²,各小区在田间随机排列,甜瓜株距40 cm,单行定植,每小区16株。定植前施入等量的基肥(N 45 kg/hm²,P₂O₅ 45 kg/hm²,K₂O 75 kg/hm²),追肥时N(112.5 kg/hm²)和P₂O₅(135 kg/hm²)为常量,而钾肥为变量。追肥以沟施的方式在甜瓜坐果期一次性施用。灌水下限和施钾量2个变量的水平编码见表1,各处理的水肥组合方案见表2。

表 1 甜瓜结瓜期灌水下限和施钾量的水平编码
Table 1 Coding values of water and potassium

因素 Factors	变化区间 Interval	水平编码 Variable				
		-1.414	-1	0	1	1.414
灌水下限/% Irrigation low limit	10	46	50	60	70	74
K ₂ O/(kg·hm ⁻²)	159	0	66	225	384	450

注:灌水下限以土壤含水量占田间持水量的百分数表示。在本试验中,当土壤含水量降低到设定的灌水下限时,便开始灌水。
Note: Irrigation low limit designated as soil relative water content. In this experiment, when the soil relative water content depressed to the low point, the irrigation started.

1.3.2 水分处理 甜瓜缓苗7 d后开始灌水处理,当不同处理土壤含水量降至其对应灌水下限时,通

过公式(1)计算其灌溉饱和时所需灌水量,以此定量灌溉,如此周而复始,直到甜瓜成熟。采用滴灌方

式,用水表定量灌水;同时记录灌水日期、灌水量和灌水次数。计划湿润层深度:苗期 10 cm,伸蔓期 20 cm,膨瓜期 30 cm。土壤含水量用自动土壤水分监测仪器 EASYAG 测定。

$$V=rs\times S\times h\times Q\times(1-q)\times\eta。$$

(1)

式中: V 为灌水量,L; rs 为土壤体积质量,g/cm³; S 为小区面积,m²; h 为计划湿润层深度,cm; Q 为田间持水量(质量含水量); q 为土壤水分下限,以土壤含水量占田间持水量的百分比表示; η 为灌溉效率,取 100%。

表 2 甜瓜水钾耦合试验中灌水下限和施钾量的组合方案

Table 2 Combination of irrigation low limit and potassium in this experiment

处理 Treatments	结构矩阵 Matrix	
	灌水下限(x_1)	施钾量(x_2)
	Irrigation low limit	K ₂ O
T1	1	1
T2	1	−1
T3	−1	1
T4	−1	−1
T5	1.414	0
T6	−1.414	0
T7	0	1.414
T8	0	−1.414
T9	0	0

1.4 甜瓜产量和可溶性固形物含量的测定

每株甜瓜于第 12~16 节位留 1 个瓜,果实成熟后,分别统计各小区的产量。果实采收后,全部用于

表 3 不同灌水下限、施钾量组合方案下甜瓜产量与可溶性固形物的含量

Table 3 Yield and soluble solid content of cantaloupes under different combinations of water and potassium

处理 Treatment	2011 年 2011 year		2012 年 2012 year	
	产量/(kg·hm ^{−2})	可溶性固形物含量/%	产量/(kg·hm ^{−2})	可溶性固形物含量/%
	Yield	Soluble solid content	Yield	Soluble solid content
T1	37 586 b	15.8 a	42 323 b	16.1 a
T2	29 618 f	12.6 h	35 504 f	13.1 i
T3	33 299 c	13.4 f	36 822 c	13.8 f
T4	24 500 i	13.8 e	28 496 i	14.1 e
T5	32 609 d	14.0 d	36 647 d	14.4 d
T6	25 884 h	13.1 g	29 676 h	13.5 h
T7	39 245 a	15.2 b	43 044 a	15.6 b
T8	27 341 g	13.3 f	30 168 g	13.6 g
T9	31 991 e	14.9 c	35 652 e	15.3 c

注:同列数据后标不同小写字母者表示差异达显著水平($P<0.05$)。

Note:Different lowercase letters indicate significant differences of different treatments ($P<0.05$).

以灌水下限、施钾量为自变量,产量和可溶性固形物含量为因变量,利用 SAS 8.0 软件进行回归分析,分别建立水肥效应模型。秋茬和春茬甜瓜的产量模型分别见式(2)和(3):

$$y=31\,991+2\,378x_1+4\,188x_2-1\,373x_1^2-$$

指标测定,取果肉(统一取果实中部果肉约 10 g),研磨,离心(4 000 r/min 10 min),得到果肉上清液,然后用手持糖量计测定果实可溶性固形物含量(质量分数)。

1.5 数据处理

利用 Excel 2007 和 SAS 8.0 软件对试验数据进行处理分析并做图。

2 结果与分析

2.1 甜瓜水钾耦合模型的建立与检验

2011 年秋茬和 2012 年春茬甜瓜产量和可溶性固形物含量见表 3。由表 3 可以看出,两茬甜瓜各处理间的产量和可溶性固形物含量差异性均达到显著水平($P<0.05$),其中 T7 处理(灌水下限 60%,施钾量 450 kg/hm²)的产量和可溶性固形物含量均较高;T3 和 T6 处理钾肥充足、水分亏缺,T2 和 T8 处理钾肥亏缺、水分充足,T4 处理水钾均亏缺,以上 5 个处理甜瓜产量和可溶性固形物含量都显著降低。因此,合理的水钾管理是甜瓜高产、优质的保障。2011 年秋茬试验期间,阴雨天较多,光照弱,日平均气温呈递减趋势,对甜瓜生长极为不利;2012 年春茬试验期间,阴雨天少,光照充足,日平均气温呈递增趋势,有利于甜瓜生长。因此,2012 年春茬甜瓜的产量和可溶性固型物含量均优于 2011 年秋茬。

$$219x_1x_2+1\,051x_2^2,$$

(2)

$$y=35\,652+2\,615x_1+4\,245x_2-1\,170x_1^2-227x_1x_2+1\,104x_2^2。$$

(3)

式中: y 为产量,kg/hm²; x_1 为灌水下限的编码值, x_2 为追施钾量的编码值。

对式(2)和(3)进行 F 检验,失拟不显著。说明水钾耦合处理与产量间的回归关系达到极显著水平,用此水钾耦合回归模型进行产量预测,具有较高的可靠性。对模型各项回归系数进行检验,可知灌水下限与施钾量 2 个因素均对甜瓜产量有一定的影响,其中灌水下限与施钾量的一次项和交叉项的影响均达到显著水平,其余项的影响不显著 ($P > 0.05$)。

秋茬和春茬甜瓜的可溶性固形物含量模型分别见式(4)和(5):

$$y = 14.9 + 0.292x_1 + 0.681x_2 - 0.673x_1^2 + 0.91x_1x_2 - 0.331x_2^2, \tag{4}$$

$$y = 15.3 + 0.311x_1 + 0.705x_2 - 0.692x_1^2 + 0.81x_1x_2 - 0.351x_2^2. \tag{5}$$

式中: y 为可溶性固形物含量, %。

对式(4)和(5)进行 F 检验,拟合较好,且 R^2 分别为 0.984 1 和 0.981 1。说明水钾耦合处理与可

溶性固形物含量间的回归关系达到极显著水平,用此水钾耦合回归模型进行可溶性固形物含量预测具有较高的可靠性。对模型各项回归系数进行检验,可知灌水下限与施钾量的一次项、二次项及交叉项对甜瓜可溶性固形物含量的影响均达到显著水平 ($P < 0.05$)。

2.2 甜瓜水钾耦合模型的分析

2.2.1 主效应分析 由式(2)、(3)和(4)、(5)可以看出,灌水下限(x_1)和施钾量(x_2)的一次项系数均为正值,且均表现为 $x_1 < x_2$,说明施钾量对甜瓜产量和可溶性固形物含量的影响均大于灌水下限,且二者对产量和可溶性固形物含量的影响均为正效应。

2.2.2 单因子效应分析 将回归模型中的其中一个因素固定,可获得单因素对春茬、秋茬甜瓜产量和可溶性固形物含量影响的偏回归子模型,分别为式(6)、(7)和式(8)、(9),其曲线见图 1 和图 2。

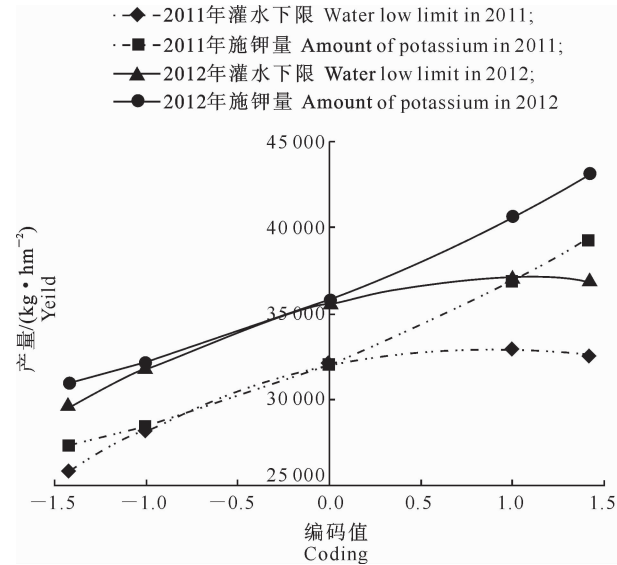


图 1 灌水下限和施钾量对甜瓜产量的影响
Fig.1 Effect of water low limit and potassium on the yield of muskmelon

单因素对甜瓜产量影响的偏回归子模型为:

秋茬. 灌水量: $y_1 = 31\,991 + 2\,378x_1 - 1\,373x_1^2$,
施钾量: $y_2 = 31\,991 + 4\,188x_2 + 1\,051x_2^2$; $\tag{6}$

春茬. 灌水量: $y_1 = 35\,652 + 2\,615x_1 - 1\,170x_1^2$,
施钾量: $y_2 = 35\,652 + 4\,245x_2 + 1\,104x_2^2$. $\tag{7}$

由式(6)可知, y_1 有最大值,此时 x_1 为 0.87; y_2 有最小值,此时 x_2 为 -1.99。由式(7)可知, y_1 有最大值,此时 x_1 为 1.12; y_2 有最小值,此时 x_2 为 -1.92。

单因素对甜瓜可溶性固形物含量影响的偏回归

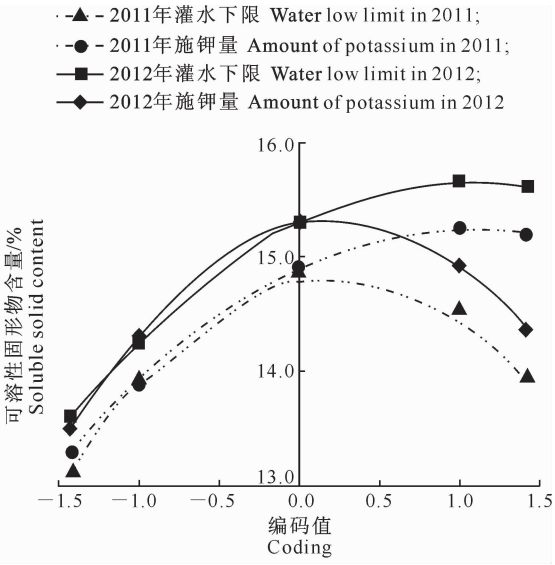


图 2 灌水下限和施钾量对甜瓜可溶性固形物含量的影响
Fig.2 Effect of water low limit and potassium on the soluble solid content of muskmelon

子模型为:

秋茬. 灌水量: $y_1 = 14.9 + 0.292x_1 - 0.673x_1^2$,
施钾量: $y_2 = 14.9 + 0.681x_2 - 0.331x_2^2$; $\tag{8}$

春茬. 灌水量: $y_1 = 15.3 + 0.311x_1 - 0.692x_1^2$,
施钾量: $y_2 = 15.3 + 0.705x_2 - 0.351x_2^2$. $\tag{9}$

由式(8)可知, y_1 有最大值,此时 x_1 为 0.22; y_2 有最大值,此时 x_2 为 1.03。由式(9)可知, y_1 有最大值,此时 x_1 为 0.22; y_2 有最大值,此时 x_2 为 1.01。

由图 1 可知,在两茬试验中,甜瓜产量与灌水下

限的关系均为开口向下的抛物线,在灌水下限编码值为 $-1.414 \sim -0.5$,即灌水下限为 $46\% \sim 55\%$ 时,其变化对甜瓜产量影响极为显著;灌水下限编码值为 $-0.5 \sim 1.414$,即灌水下限为 $55\% \sim 74\%$ 时,其变化对产量的影响较小;灌水下限编码值为1左右,即灌水下限为 70% 时,甜瓜产量最高。说明灌水下限过高或过低都会导致甜瓜产量下降。

由图1还可知,在本试验设定施钾量水平内,甜瓜产量与施钾量的关系为开口向上的抛物线,施钾量编码值大于 -1.414 ,即追施钾肥量大于 0 kg/hm^2 时,甜瓜产量随施钾量的增加而增大,但是产量不会无限制增大^[9-10],所以对于施钾量编码值大于 1.414 时甜瓜产量的表现有待进一步研究。

由图2可知,在两茬试验中甜瓜可溶性固形物含量与灌水下限的关系均为开口向下的抛物线,灌水下限编码值为 $-1.414 \sim -0.5$ 和 $1 \sim 1.414$,即灌水下限在 $46\% \sim 55\%$ 和 $70\% \sim 74\%$ 时,其变化对可溶性固形物含量影响极显著;灌水下限编码值为 $-0.5 \sim 1$,即灌水下限为 $55\% \sim 70\%$ 时,其变化对可溶性固形物含量影响较小;灌水下限编码值为 0.22 ,即灌水下限为 62.2% 时,甜瓜可溶性固形物含量最大。表明灌水下限过高或过低都会导致可溶性固形物含量下降。

由图2还可知,甜瓜可溶性固形物含量与施钾量的关系也为开口向下的抛物线,施钾量编码值为 $-1.414 \sim -0.5$,即追施钾肥(K_2O)为 $0 \sim 146 \text{ kg/hm}^2$ 时,其变化对可溶性固形物含量影响极显著;施钾量编码值为 $-0.5 \sim 1.414$,即追施钾肥(K_2O)为 $146 \sim 450 \text{ kg/hm}^2$ 时,其变化对可溶性固形物含量影响较小;施钾量编码值为1,即追施钾肥(K_2O)为 384 kg/hm^2 时,甜瓜可溶性固形物含量最大。可知,施钾量过高或过低都会导致果实可溶性固形物含量降低。

2.2.3 灌水下限与施钾量的交互作用 由式(2)和(3)可以看出,灌水下限和施钾量交互项系数均为负值,说明二者对甜瓜产量的影响存在一定的负交互作用,其交互项系数经检验均达到显著水平。由式(4)和(5)可知,灌水下限和施钾量交互项系数均为正值,说明二者对甜瓜可溶性固形物含量的影响存在一定的正交互作用,其交互项系数经检验均达到显著水平。因此,充分利用二因子间的交互效应,才能保证甜瓜的高产和优质。

2.2.4 甜瓜高产、优质时的水钾优化组合 对式(2)和式(3)进行模拟计算,可得到甜瓜高产的水肥

组合为 $x_1=0.8 \sim 1.2, x_2=1.414$,即在原土壤肥力水平下,甜瓜在基肥量相等的情况下要达到最高产量,灌水下限应为 $68\% \sim 72\%$,需追施钾肥(K_2O) 450 kg/hm^2 。在此优化的水钾调控方案下甜瓜产量可达 $44\,990 \text{ kg/hm}^2$ 。同理,由式(4)和(5)可得,在原土壤肥力水平下,甜瓜在基肥量相等的情况下要达到品质最优质,灌水下限应为 $60\% \sim 65\%$,需追施钾肥(K_2O) $368 \sim 400 \text{ kg/hm}^2$ 。在此优化的水钾调控方案下甜瓜可溶性固形物含量可达 16.7% 。将甜瓜产量模型与可溶性固形物含量模型联立,进行综合分析,可得到甜瓜高产、优质的水肥组合,即灌水下限为 $64\% \sim 69\%$,追施钾肥(K_2O) $395 \sim 450 \text{ kg/hm}^2$;在此优化的水钾调控方案下,甜瓜产量和可溶性固形物含量分别可达 $41\,800 \text{ kg/hm}^2$ 和 15.9% 。

3 讨论

设施种植投入较大,所以高产、优质、高效一直都是种植者追求的目标,合理的水肥调控是实现此目标的必要条件^[8]。许多研究表明,灌水量过高、过低或施钾量过低都会导致甜瓜产量降低^[9-15],这与本试验结果相似。本试验发现,当灌水下限大于或小于 70% 会导致甜瓜产量明显降低。原因可能是,水分亏缺情况下,甜瓜营养生长受阻、植株弱小、光合干物质积累量少,从而直接影响其生殖生长;然而,水分过多时,甜瓜营养生长过旺,导致徒长,抑制生殖生长,同时叶面积指数过大,导致净光合产值较低。另外,在本试验设定钾肥水平内,甜瓜产量随追施钾肥量的增加而增大,原因可能是土壤原钾素含量低,且试验设定施钾量范围较小,所以此规律仅适用于该钾肥区间。

可溶性固形物含量直接反映了甜瓜果实总营养物质的含量,是评价果实营养价值和品质的重要指标,其高低决定了果实风味品质的优劣^[16-17]。研究表明,灌水量过高或过低都会导致果实可溶性固形物含量降低^[11],尤其是在果实成熟期,灌水量过多时,可溶性固形物含量显著降低^[18],这与本试验结果一致。原因可能是,水分对果实可溶性固形物含量具有稀释作用,从而导致可溶性固形物含量随灌水量的增加而减少^[19]。国内外已有大量关于钾素对果实可溶性固形物含量影响的研究,Asri等^[20]通过无土栽培试验认为,钾肥在一定范围内增加可以持续提高甜瓜果实可溶性固形物含量;张自坤等^[21]研究表明,增施钾肥可显著提高薄皮甜瓜的可溶性

固形物含量;牛在垒等^[7]研究表明,适当增施钾肥可以提高厚皮甜瓜的果实总糖含量;林多等^[5]通过无土栽培试验研究表明,钾素用量过高导致网纹甜瓜果实可溶性固形物含量降低,这与本研究结果基本一致,其原因可能与钾肥过多导致土壤盐渍化有关。适当增施钾肥能提高果实中可溶性固形物含量的作用机理可能是,适量增施钾素能促进根系对氮素的吸收、提高光合速率^[22];钾素还能通过促进同化物的韧皮部输送、提高糖代谢酶活性,促进糖类物质在库中积累^[23]。

在本试验设定水平下,施钾量对甜瓜产量和可溶性固形物含量的影响均大于灌水下限。水钾对甜瓜产量和可溶性固形物含量的影响分别存在显著的负交互效应和正交互效应。其中,负交互效应导致产量降低,正交互效应导致可溶性固形物含量提高。所以,充分利用水钾交互效应,才能保证甜瓜的高产、优质。

4 结 论

在本试验条件下,甜瓜获得高产的水钾耦合方案为:采用滴灌,灌水下限为 68%~72%,累计灌水量 2 768 m³/hm²,追施钾肥(K₂O)450 kg/hm²,在此条件下产量可达到 44 990 kg/hm²;甜瓜可溶性固形物含量较高时的水钾耦合方案为:灌水下限为 60%~65%,累计灌水量 2 453 m³/hm²,追施钾肥(K₂O)368~400 kg/hm²,在此条件下可溶性固形物含量可达到 16.7%。综合考虑甜瓜产量和品质,则最优水钾耦合方案为:灌水下限为 64%~69%,追施钾肥(K₂O)395~450 kg/hm²,甜瓜产量和可溶性固形物含量分别可达41 800 kg/hm² 和 15.9%。

〔参考文献〕

[1] 妙晓莉. 大棚厚皮甜瓜栽培技术 [J]. 北方园艺, 2008(1): 80-81.
Miao X L. Technology cultivation of muskmelon in plastic greenhouse [J]. Northern Horticulture, 2008(1): 80-81. (in Chinese)

[2] 李长勋, 王宝河, 王大伟, 等. 甜瓜栽培技术 [J]. 吉林蔬菜, 2005(3): 9-10.
Li C X, Wang B H, Wang D W, et al. Cultivation technology of muskmelon [J]. Jilin Vegetables, 2005(3): 9-10. (in Chinese)

[3] 姚 静, 邹志荣, 杨 猛, 等. 日光温室水肥耦合对甜瓜产量影响研究初探 [J]. 西北植物学报, 2004, 24(5): 890-894.
Yao J, Zou Z R, Yang M, et al. Effect of water-fertilizer coupling on yield of cantaloupes [J]. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2004, 24(5): 890-894. (in Chinese)

[4] 李毅杰, 李保忠, 别之龙, 等. 不同土壤水分下限对大棚滴灌甜瓜产量和品质的影响 [J]. 农业工程学报, 2012, 28(6): 132-138.
Li Y J, Li B Z, Bie Z L, et al. Effects of drip irrigation threshold on yield and quality of muskmelon in plastic greenhouse [J]. Transactions of the CSAE, 2012, 28(6): 132-138. (in Chinese)

[5] 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.
Lin D, Huang D F. Effects of potassium levels on photosynthetic and fruit quality of muskmelon in soilless medium culture [J]. Acta Horticulturae Sinica, 2003, 30(2): 221-223. (in Chinese)

[6] 林 多, 黄丹枫, 杨延杰, 等. 钾素水平对网纹甜瓜矿质元素积累及果实品质的影响 [J]. 华北农学报, 2007, 22(6): 1-4.
Lin D, Huang D F, Yang Y J, et al. Effects of potassium levels on macroelement accumulation and fruit quality of muskmelon in soilless medium culture [J]. Acta Agriculturae Boreali Sinica, 2007, 22(6): 1-4. (in Chinese)

[7] 牛在垒, 刘建辉, 杜军志. 不同氮、钾供肥量对厚皮甜瓜产量和品质的影响 [J]. 北方园艺, 2008(10): 8-12.
Niu Z L, Liu J H, Du J Z. Effects of different amounts of nitrogen and potassium on yield and quality of muskmelon [J]. Northern Horticulture, 2008(10): 8-12. (in Chinese)

[8] 张艳丽, 李建明, 王静静, 等. 通风与氮钾肥对温室甜瓜生长及品质的影响 [J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2010, 38(2): 117-122.
Zhang Y L, Li J M, Wang J J, et al. Effects of ventilation, nitrogen and potassium on growth and quality of melon in solar greenhouse [J]. Journal of Northwest A&F University: Natural Science Edition, 2010, 38(2): 117-122. (in Chinese)

[9] 孙华银, 康绍忠, 胡笑涛, 等. 根系分区交替灌溉对温室甜椒不同灌水下限的响应 [J]. 农业工程学报, 2008, 24(6): 78-84.
Sun H Y, Kang S Z, Hu X T, et al. Response of greenhouse sweet pepper under alternate partial root-zone irrigation to different irrigation low limits [J]. Transactions of the CSAE, 2008, 24(6): 78-84. (in Chinese)

[10] 沈 晖, 田军仓, 宋天华. 旱区压砂地甜瓜平衡施肥产量效应研究 [J]. 节水灌溉, 2011(11): 5-8.
Shen H, Tian J C, Song T H. Effects of balanced fertilization on the yield for melon in sunda [J]. Water Saving Irrigation, 2011(11): 5-8. (in Chinese)

[11] Faberio C, de Santa Olalla M F, Juan J A. Production of muskmelon under controlled deficit irrigation in a semi-arid climate [J]. Agr Water Manage, 2002(54): 93-105.

[12] Orgaz F, Fernandez M D, Bonachela S, et al. Evaporation of horticultural crops in an unheated plastic greenhouse [J]. Agr Water Manage, 2005(72): 81-96.

[13] 于天伦, 田 旭. 论防止温室蔬菜土壤盐渍化的主要对策 [J]. 吉林农业, 2012(5): 75.
Yu T L, Tian X. Countermeasures to prevent the greenhouse vegetable soil salinization, the main theory [J]. Jilin Agricultural, 2012(5): 75. (in Chinese)

[14] 郭俊伟,郭文龙. 蔬菜日光温室施肥与土壤养分状况研究 [J]. 中国农学通报,2010,26(13):243-246.
Guo J W,Guo W L. Study on the fertilization of vegetables and soil nutrient condition in sunlight greenhouse [J]. Chinese Agriculture Science Bulletin,2010,26(13):243-246. (in Chinese)

[15] 邹志荣,李清明,贺群忠. 不同灌溉上限对温室黄瓜结瓜期生长动态、产量及品质的影响 [J]. 农业工程学报,2005,21(增刊):77-81.
Zou Z R,Li Q M,He Q Z. Effects of different irrigation maximums on growth dynamics, yield and quality of cucumber during fruit-bearing stage in greenhouse [J]. Transactions of the CSAM,2005,21(S1):77-81. (in Chinese)

[16] 李立昆,李玉红,司立征,等. 不同施氮水平对厚皮甜瓜生长发育和产量品质的影响 [J]. 西北农业学报,2010,19(3):150-153.
Li L K,Li Y H,Si L Z,et al. Effects of different nitrogen levels on growth and development, yield and quality of muskmelon [J]. Acta Agriculturae Boreali-Occidentalis Sinica,2010,19(3):150-153. (in Chinese)

[17] 牛晓丽,周振江,李 瑞,等. 根系分区交替灌溉条件下水肥供应对番茄可溶性固形物含量的影响 [J]. 中国农业科学,2012,45(5):893-901.
Niu X L,Zhou Z J,Li R,et al. Effects of water and fertilizers applied on the soluble solid content in tomato under alternate partial root-zone irrigation [J]. Scientia Agricultura Sinica,2012,45(5):893-901. (in Chinese)

[18] Waldir A,Marouelli W A,Washington L C,et al. Water tension thleshods for processing tomatoes under drip irrigation in Central Brzil [J]. Irrigation Science,2007,25(4):411-418.

[19] 陈秀香,马富裕,方志刚,等. 土壤水分含量对加工番茄产量和品质影响的研究 [J]. 节水灌溉,2006(4):1-4.
Chen X X,Ma F Y,Fang Z G,et al. Preliminary study on the influence of soil moisture on yield and quality of processed tomato [J]. Water Saving Irrigation,2006(4):1-4. (in Chinese)

[20] Asri F O,Sonmez S. Reflection of different applications of potassium and iron fertization on tomato yield and fruit quality in soilless medium [J]. Journal of Food Agriculture and Environment,2010,8(34):426-429.

[21] 张自坤,李 华,谭月强,等. 钾肥对薄皮甜瓜品质的影响 [J]. 山东农业科学,2012,44(1):77-78.
Zhang Z K,Li H,Tan Y Q,et al. Effects of potassium nutrition on melon quality [J]. Shandong Agricultural Sciences,2012,44(1):77-78. (in Chinese)

[22] 王 军,黄冠华,郑建华. 西北内陆旱区不同沟灌水肥对甜瓜水分利用效率和品质的影响 [J]. 中国农业科学,2010,43(15):3168-3179.
Wang J,Huang G H,Zheng J H. Effect of water and fertilizer application on melon water use efficiency and quality with different furrow irrigation in the oasis arid region of Northwest China [J]. Scientia Agricultura Sinica,2010,43(15):3168-3179. (in Chinese)

[23] 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 Bulletin,2005,21(8):265-268. (in Chinese)