植物营养与肥料学报 2014,20(3):687-695
Journal of Plant Nutrition and Fertilizer doi: 10.11674/zwyf.2014.0321

磷钾配施对旱砂田西瓜产量、品质及养分利用率的影响

马忠明[1], 杜少平[2], 薛 亮[3]
(1 甘肃省农业科学院,甘肃兰州 730070; 2 甘肃省农业科学院蔬菜研究所,甘肃兰州 730070;
3 甘肃省农业科学院土壤肥料与节水农业研究所,甘肃兰州 730070)

摘要: 为了探明旱砂田西瓜产量、品质及养分利用率同步提高的最佳氮磷钾施用量和配比,制定合理的栽培措施,本试验以中晚熟西瓜品种陇抗九号为试材,在砂田西瓜氮肥施用量为 200 kg/hm^2 的基础上,设置了 3 个施钾水平(0、130、260 kg/hm^2)和4 个施磷水平(0、90、130、170 kg/hm^2),研究了磷、钾肥配施对西瓜产量、品质和肥料利用率的影响。结果表明,西瓜产量和品质均随施磷量和施钾量的增加而提高,其中 P_{170}处理的西瓜单瓜重和产量较 P_0 分别显著提高了 13.75% 和 43.79%; 西瓜平均含糖量、Vc 和蛋白质含量较 P_0 分别显著提高了 13.75%、9.48% 和 11.90%; K_{260}处理的西瓜单瓜重和产量较 K_0 分别显著提高了 9.22% 和 7.54%; 西瓜平均含糖量和硝酸盐含量较 K_0 分别显著提高了 5.86% 和 11.24%。磷钾肥配施对西瓜光合、产量及养分吸收利用的互作效应显著,且均表现出在低钾条件下,各指标随施磷量的增加先增加后趋于稳定或降低; 高钾条件下,则随施磷量的增加而增加,并以磷肥效应较大,钾肥次之,在磷、钾配施的所有处理中,$K_{260}P_{170}$处理的西瓜光合速率、产量和养分利用率均最高。本试验在施用氮肥 200 kg/hm^2 条件下,砂田西瓜的磷、钾最优施肥量分别为 170 kg/hm^2 和 260 kg/hm^2,相应的 N、P_2O_5、K_2O 比例为 1∶0.85∶1.3。

关键词: 西瓜; 磷钾配施; 产量; 品质; 养分利用率
中图分类号: S318 **文献标识码**: A **文章编号**: 1008-505X(2014)03-0687-09

Effects of combined application of P and K on the yield, quality and nutrient utilization of watermelon in gravel-mulched field

MA Zhong-ming[1]*, DU Shao-ping[2], XUE Liang[3]
(*1 Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou 730070, China; 2 Institute of Vegetables, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou 730070, China; 3 Institute of Soil, Fertilizer and Water-saving Agricultural, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou 730070, China*)

Abstract: On the base of applying nitrogen 200 kg/ha, a field experiment with three potassium rates (0, 130, 260 kg/ha) and four phosphorus rates (0, 90, 130, 170 kg/ha) was conducted to study the effects of combined application of P and K on the yield, quality and nutrient utilization efficiency of watermelon in Gravel-mulched field. A late mature watermelon cultivar, Longkang 9, was used as material. The results show that the yield and quality of watermelon increase with the increase of P and K application rates. With P_{170} treatment, the single fruit weight and yield of watermelon increase by 13.75% and 43.79% respectively, and the average sugar, Vc and protein contents by 13.75%, 9.48% and 11.90% compared with P_0. With the K_{260} treatment, the single fruit weight, yield of watermelon increase by 9.22% and 7.54%, and the average sugar, nitrate contents increase by 5.86% and 11.24% compared with K_0. Significant positive interactive effect of P and K exists in the photosynthesis, yield and nutrient utilization efficiencies. Under low potassium rates, all the tested parameters keep

收稿日期: 2013-05-04 **接受日期**: 2014-03-13
基金项目: 国家西甜瓜产业技术体系土壤肥料岗位项目(CARS-26-20)资助。
作者简介: 马忠明(1964—),男,甘肃民勤人,博士,研究员,主要从事保护性农业和节水农业研究。E-mail: mazhming@163.com

increasing within a certain range of P application rate, while under high potassium levels, with the increase of phosphorus application rate, better effects are obtained with individual P application than individual K application. The highest photosynthetic rate, yield and nutrient utilization efficiency were achieved with $K_{260}P_{170}$ treatment. Therefore, the optimum fertilizer application rates were P_2O_5 170 kg/ha and K_2O 260 kg/ha at the base of applying N 200 kg/ha, hence, the most suitable ratio of N : P_2O_5 : K_2O is 1 : 0.85 : 1.3 for good yield and quality of watermelon in this soil condition.

Key words: watermelon; combined use of P and K fertilizer; quality; nutrient efficiency

氮、磷、钾是植物生长发育必需的大量营养元素,对西瓜的生长和产量、品质的形成不可缺少。其中西瓜生长对氮素营养水平反应比较敏感,氮是构成西瓜体内蛋白质、核酸、叶绿素和多种酶、多种维生素的主要成分,氮素营养水平直接影响西瓜的产量和品质[1-2]。磷对碳水化合物的合成、运输、氮的代谢和脂肪合成以及提高西瓜对外界环境的适应能力方面起着重要的作用[3],增施磷肥有利于提高单株瓜的数量和单瓜重,进而提高产量,且增加了西瓜可溶性糖和维生素 C 含量[4]。钾素能促进蔗糖的合成,有利于糖分的运输和积累。研究表明,生长期植株钾的含量与西瓜糖分含量呈正相关[5-6],因此是公认的"品质元素"。以上研究中氮、磷、钾各自在西瓜的产量和品质的形成中起着重要的作用,而作物对氮、磷、钾在不同的生育期的吸收是有差异的,这就存在 3 种元素平衡的问题。以往研究表明[5, 7-11],氮、磷、钾肥配施对西瓜产量和品质的影响均显著大于单施,但由于产地环境条件、品种、栽培模式各不相同,对西瓜矿质养分吸收量及氮、磷、钾肥适宜施用比例和施用量的研究数据不尽相同。

砂田是我国西北干旱半干旱地区独特的、传统的抗旱耕作方式,具有增温保墒、阻止水土流失和土壤次生盐渍化的作用[12-16],属土壤覆盖和水土保持方法之一。近年来,随着砂田瓜菜产业的兴起,砂田西瓜因其含糖量高、瓤质细嫩多汁、甘甜爽口而种植面积逐年扩大[17]。砂田西瓜传统施肥缺乏科学性,重氮轻磷,少施甚至不施钾肥及微肥,造成土壤养分比例失调,肥料利用率低,致使西瓜的产量和品质降低,严重制约着砂田西瓜产业的可持续发展[18],而以往对砂田西瓜平衡施肥方面的研究较少。因此本试验在旱砂田西瓜氮肥施用基础上,设置了不同磷、钾肥配合处理,探讨氮磷钾肥配施对砂田西瓜产量、品质及养分利用率的影响,旨在探明适合旱砂田西瓜生产的较优施肥配方,为实现旱砂田西瓜的高产高效提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验于2012年在甘肃省农业科学院皋兰试验站进行,试验地位于皋兰县中心乡三坪村(36°13′N,103°42′E),平均海拔 1830 m 左右,属温带半干旱气候区,降水少且变率大,季节分配不均,多年平均降水量 260 mm,多集中在 7 ~ 9 月份,占全年降水的 60% 以上,年平均气温 7.0℃,≥10℃的活动积温为 2798℃,无霜期 142 d。土壤质地为砂土,土壤肥力偏低,播前土壤基础养分含量(0—20 cm 土层)为有机质 5.30 g/kg、全氮 0.45 g/kg、碱解氮 26.41 mg/kg、速效磷 1.80 mg/kg、速效钾 95.50 mg/kg、有效硼 0.50 mg/kg、有效锌 0.80 mg/kg、pH 8.38。

供试西瓜品种为甘肃省农科院蔬菜所培育的陇抗九号。

本试验采用磷肥(P)、钾肥(K)两因素完全随机区组设计,主区为钾肥处理,设 K_2O 0、130、260 kg/hm^2 三个水平,副区为磷肥处理,设 P_2O_5 0、90、130、170 kg/hm^2 四个水平,氮肥均为纯 N 200 kg/hm^2。小区面积为 32 m^2,3 次重复。试验所用氮肥为尿素(N 46%)、磷肥为普通过磷酸钙(P_2O_5 12%)、钾肥为硫酸钾(K_2O 50%),其中氮肥 40% 做基肥于播前瓜行条施,60% 做追肥伸蔓期穴施,磷、钾肥做基肥于播前一次性施入瓜行。宽窄行"品"字形穴播,宽行 0.9 m、窄行 0.6 m,播后进行宽窄膜相配套的全膜覆盖技术。4 月 18 日播种,7 月 23 日收获,其他管理措施按常规。

1.2 测定项目与方法

分别于西瓜开花期和果实膨大期,每小区选取具有代表性的植株 5 株,使用 ADC Lci 光合仪测定第 5、6 片功能叶的光合速率和蒸腾速率。

西瓜成熟时,每小区随机选取具有代表性的 10 个瓜计算单瓜重,并统计每小区西瓜数,然后计算产量。使用手持式折光仪测定含糖量,比色法测定维生素 C 含量[19],硝酸盐含量采用紫外分光光度法

(NY/T1279 - 2007),蛋白质含量采用凯式定氮法[20],有效酸度用 pH 计测定,土壤基础理化性状分析及植株干物质养分含量测定采用土壤农业化学常规分析方法[20]。

西瓜总的养分积累量(kg/hm^2) = 成熟期植株干重(kg/hm^2) × 成熟期植株含氮量(%) + 成熟期果实重(kg/hm^2) × 成熟期果实含氮量(%);

氮肥偏生产力 = 施氮区产量/施氮量;

养分当季利用率(%) = (施肥处理作物养分积累量—不施肥处理作物养分积累量)/肥料投入量 ×100。

统计分析和差异显著性检验采用 SPSS 16.0 版软件分析,用 LSD 法进行显著性检验。

2　结果与分析

2.1　磷钾肥互作对西瓜叶片光合作用的影响

西瓜的光合特性影响着其碳水化合物的合成与积累,是影响西瓜产量和品质的重要生理因素。由表 1 可知,磷钾肥配施对西瓜不同生育期叶片光合作用的互作效应显著,西瓜叶片光合速率和蒸腾速率在无钾和低钾处理中,表现出随施磷量的增加先增加后降低的趋势; 在高钾处理中,则随施磷量的增加而增加,且随着氮磷钾肥总配施量的增加而提高。其中 $K_{260}P_{170}$处理的西瓜叶片光合速率和蒸腾速率在开花期较不施磷钾肥分别显著提高了 49.88% 和 30.48%, 在果实膨大期显著提高了 60.68% 和 49.12%。从西瓜不同生育时期叶片的光合特性来看,光合速率至果实膨大期达到最大,而蒸腾速率反而降低,这主要是由于西瓜果实在膨大期糖分和水分的大量积累。

表 1　磷钾肥配施对砂田西瓜光合作用的影响

Table 1　Effects of different P and K combining treatments on the photosynthesis of watermelon

处理 Treatmemt	开花期 Anthesis		果实膨大期 Fruit expanding	
	光合速率 Pn [μmol/(m^2·s)]	蒸腾速率 Tr [mmol/(m^2·s)]	光合速率 Pn [μmol/(m^2·s)]	蒸腾速率 Tr [mmol/(m^2·s)]
K_0P_0	8.42 fD	3.15 hG	15.77 fD	2.83 deD
K_0P_{90}	10.58 bcB	3.29 ghFG	17.77 deBCD	3.13 cdeBCD
K_0P_{130}	10.03 cdBC	3.35 fghEFG	21.07 cdABC	3.23 cdeBCD
K_0P_{170}	9.37 deCD	3.87 cBC	15.36 fD	2.58 eD
$K_{130}P_0$	8.70 efD	3.30 ghFG	20.80 cdABC	2.92 deCD
$K_{130}P_{90}$	10.51 bcB	3.57 defCDEF	21.40 bcdABC	3.23 cdeBCD
$K_{130}P_{130}$	11.07 bB	3.75 cdCD	21.88 bcABC	3.32 bcdBCD
$K_{130}P_{170}$	10.14 cBC	3.50 efgDEF	25.27 abA	3.63 bcBC
$K_{260}P_0$	9.28 eCD	3.60 deCDEF	16.36 efCD	3.16 cdeBCD
$K_{260}P_{90}$	10.68 bcB	3.65 cdeCDE	22.58 abcAB	3.46 bcBCD
$K_{260}P_{130}$	10.98 bB	4.51 aA	23.15 abcAB	4.01 bAB
$K_{260}P_{170}$	12.62 aA	4.11 bB	25.34 aA	4.22 aA

注(Note): 同列数据后不同小大写字母分别表示差异达5%和1%显著水平 Values followed by different small and capital letters in the same column are significantly different at the 5% and 1% levels, respectively.

2.2　磷钾肥互作对西瓜产量及构成因素的影响

由图 1 可知,磷、钾肥处理均对西瓜单瓜重及产量影响显著。西瓜单瓜重和产量先随施磷量的增加而提高,在施磷量达到 130 kg/hm^2 后趋于稳定,P_{170}处理的西瓜单瓜重和产量较 P_0 分别显著提高了 13.75% 和 43.79%; 西瓜单瓜重和产量均随施钾量的增加而递增,其中 K_{260}处理的西瓜单瓜重和产量较 K_0 分别显著提高了 9.22% 和 7.54%。通过二因素方差分析表明,磷钾肥配施对西瓜产量的交互效应显著(F =9.65),从图 2 可以看出,在主因素 K_0、K_{130}处理中,西瓜产量随施磷量的增加呈先增加后降低的趋势,而在 K_{260}处理中则随施磷量的增加而

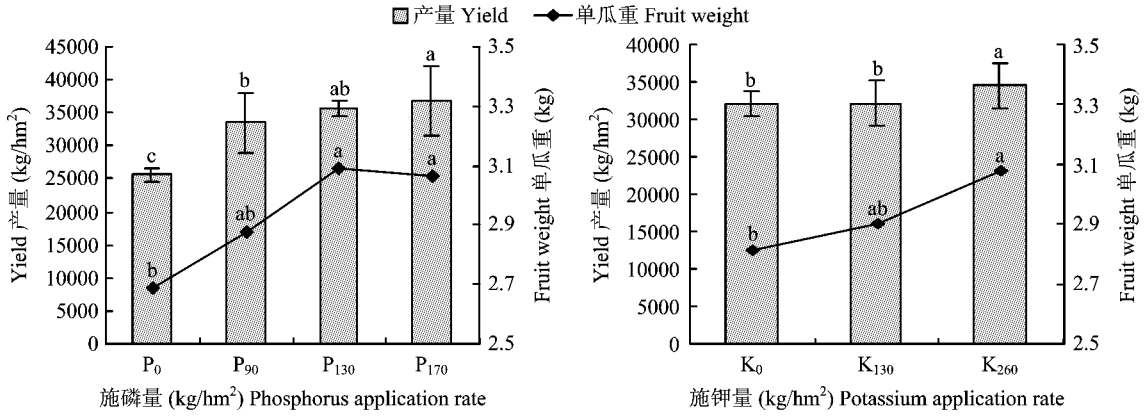

图1 磷、钾肥单作对西瓜单瓜重和产量的影响

Fig. 1 Effects of phosphorus and potassium on single fruit weight and yield of watermelon

[注(Note): 不同小写字母分别表示处理间差异达5%显著水平

Different small letters above the bars indicate significantly different at 5% levels, respectively.]

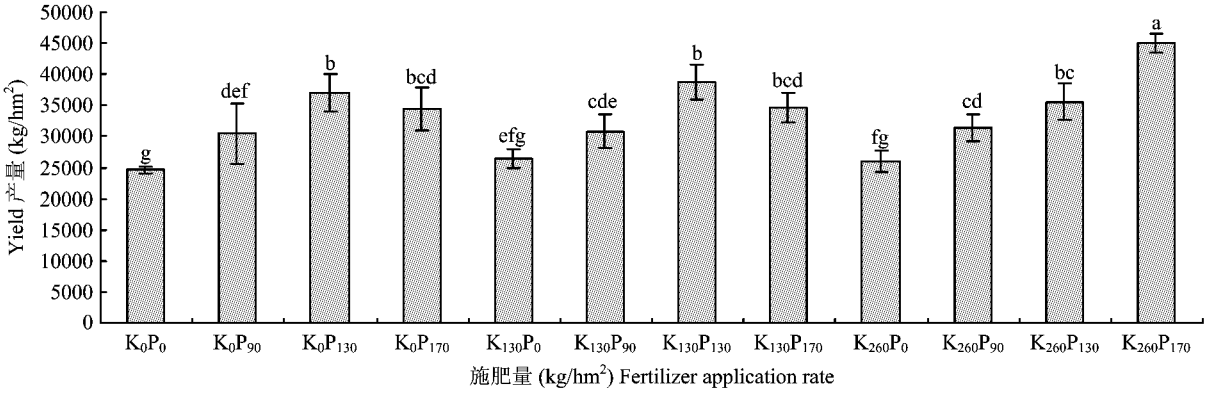

图2 磷、钾肥互作对砂田西瓜产量的影响

Fig. 2 Effects of interaction between phosphorus and potassium on yield of watermelon

[注(Note): 不同小写字母分别表示处理间差异达5%显著水平

Different small letters above the bars indicate significantly different at 5% levels, respectively.]

递增,其中 $K_{260}P_{170}$处理的西瓜产量显著高于其他组合,为45019 kg/hm²。

为了更好地分析磷钾肥互作效应,获得施磷量和施钾量的最佳平衡点,以施磷量和施钾量为自变量,西瓜产量为因变量,进行二次多项式回归分析,得出西瓜产量(Y)与磷(X1)、钾(X2)肥之间的回归方程 $Y = 27078 + 89.566X1 + 30.110X2 - 0.277X1^2 + 0.181X1X2 - 0.068X2^2$ ($R^2 = 0.824$),对该效应方程进行 F 检验,$F = 6.62 > F_{0.05}(5, 6) = 4.39$,回归关系显著,说明该方程能够反映施肥量与产量之间的关系。从磷、钾肥与西瓜产量回归模型的一次项可以看出,磷的偏回归系数大于钾,说明在本试验条件下,磷对西瓜产量的影响较大。将西瓜产量回归模型中两个自变量中的任意一个固定为0值,可得到磷、钾与西瓜产量的单因子效应方程(表2)。通过对这些一元二次方程求导数以及采用当年当地西瓜平均销售价及肥料的价格,在砂田西瓜栽培模式下,分别求得了磷、钾肥的最高产量施用量为162 kg/hm² 和221 kg/hm²;最佳经济施肥量为150 kg/hm² 和185 kg/hm²。

2.3 磷钾肥互作对西瓜品质的影响

2.3.1 磷钾互作对西瓜含糖量及酸度的影响 含糖量和有效酸度是衡量西瓜品质的主要指标。由图3可知,磷、钾肥单因素均对西瓜含糖量及酸度影响显著,西瓜含糖量随施钾量的增加而提高,在施钾130 kg/hm² 后趋于稳定,K_{260}处理的西瓜中心和边缘含糖量较 K_0 显著提高了4.81%和6.90%,K_0、K_{130}、K_{260}处理的西瓜糖分梯度分别为1.7、2.1和

表 2　磷、钾肥处理的西瓜产量效应方程

Table 2　Response equations of yields to phosphorus and potassium treatments

肥料 Fertilizer	效应方程 Effect equation	最高产量施肥量 Max. Fertilizer rate (kg/hm²)	最高产量 Max. yield (kg/hm²)	最佳经济施肥量 Opt. fertilizer rate (kg/hm²)	最佳产量 Opt. yield (kg/hm²)
P	$Y = -0.277X1^2 + 89.566X1 + 27078$	162	34318	150	34280
K	$Y = -0.068X2^2 + 30.11X2 + 27078$	221	30411	185	30321

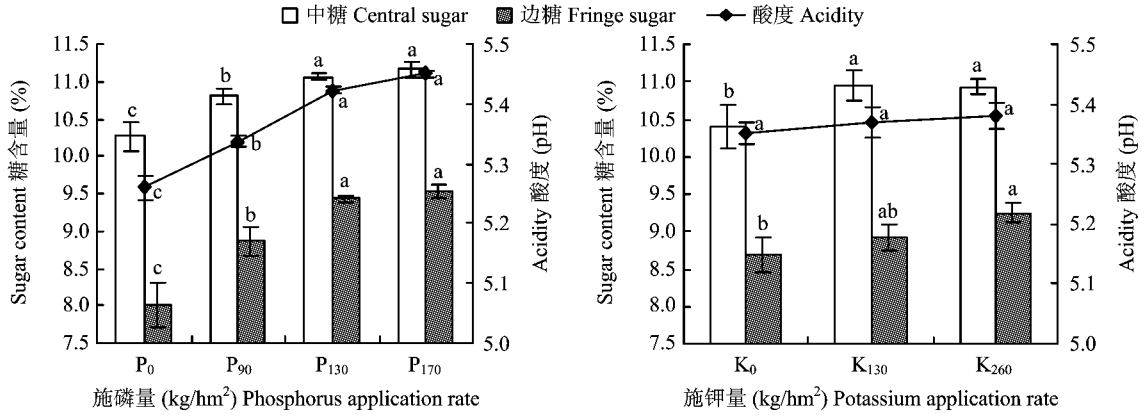

图 3　磷、钾肥单作对西瓜含糖量和酸度的影响

Fig. 3　Effects of phosphorus and potassium on sugar content and acidity of watermelon

[注(Note): 不同小写字母分别表示处理间差异达 5% 显著水平

Different small letters above the bars indicate significantly different at 5% levels, respectively.]

1.6,因此 K_{260} 处理的西瓜糖分梯度最低。不同施钾量对西瓜有效酸度影响不显著。施磷处理西瓜含糖量及有效酸度均显著高于不施磷处理,且随着施磷量的增加而提高,在施磷 130 kg/hm² 时达到最高之后趋于稳定,P_{90}、P_{130}、P_{170} 处理的西瓜中心含糖量较 P_0 分别显著提高了 4.85%、7.77% 和 8.74%,边缘含糖量显著提高了 11.25%、17.50% 和 18.75%。P_{90}、P_{130}、P_{170} 有效酸度较 P_0 分别显著提高了 1.52%、3.04% 和 3.61%,P_0、P_{90}、P_{130}、P_{170} 处理的西瓜糖分梯度分别为 2.3、1.9、1.7 和 1.7,由此可见随着施磷量的增加,西瓜糖分梯度逐渐降低。磷钾肥配施对西瓜糖分含量及有效酸度的互作效应不显著。

2.3.2 磷钾互作对西瓜 Vc、蛋白质及硝酸盐含量的影响　由表 3 可知,施磷量对西瓜维生素 C 含量影响显著,施磷处理的西瓜 Vc 含量显著高于无磷处理,在施磷 130 kg/hm² 时达到最大后有下降趋势,P_{90}、P_{130}、P_{170} 处理的西瓜 Vc 含量较 P_0 分别显著提高了 13.07%、13.73% 和 9.48%;施钾处理及磷钾肥配施的交互效应均不显著(F=2.90&0.72)。磷、钾处理对西瓜蛋白质含量均产生了显著影响,K_{130} 处理西瓜蛋白质含量较 K_0 和 K_{260} 处理显著提高了 7.87% 和 9.09%;P_{90}、P_{130}、P_{170} 处理西瓜蛋白质含量较 P_0 分别显著提高了 7.14%、11.90% 和 11.90%;但磷钾肥配施交互效应不显著(F = 1.73)。

施钾处理西瓜硝酸盐含量显著高于不施钾处理,K_{130}、K_{260} 处理较 K_0 分别显著提高了 11.14% 和 11.24%。西瓜硝酸盐含量随施磷量增加而提高,在 P_{130} 后有下降趋势,但处理间差异不显著;磷钾肥配施对西瓜硝酸盐含量具有显著的交互效应,不施钾西瓜硝酸盐含量随施磷量的增加而降低,施钾则随着施磷量的增加而提高。

2.4　磷钾肥互作对西瓜矿质养分积累和利用的影响

通过对磷钾肥配施各处理条件下砂田西瓜氮磷钾养分的积累、利用进行二因素方差分析表明,磷钾肥配施对砂田西瓜氮、磷、钾养分的总积累量及利用率的交互效应均达到显著水平,总体而言,氮、磷、钾积累总量在 K_0 和 K_{130} 处理中随着施磷量的

增加而提高，到 P_{130} 时达到最高，之后有下降趋势；在 K_{260} 处理中则随着施磷量的增加而增加，且在 P_{170} 处理时达到最高，显著高于其他处理，氮肥偏生产力也表现出相似趋势。磷肥利用率在 K_0 和 K_{130} 处理中随着施磷量的增加而降低，在 K_{260} 处理中则随着施磷量的增加而提高；钾肥利用率则随着施钾量的增加而降低，而随着施磷量的增加而提高。在以上所有磷钾肥配施处理中，$K_{260}P_{170}$ 处理的西瓜氮、磷、钾素总积累量和利用率均达到了较高水平。

表3 磷、钾肥处理对砂田西瓜品质的影响

Table 3 Effects of phosphorus and potassium on quality of watermelon

处理 Treat.	Vc (mg/100g)				蛋白质含量 Protein(%)				硝酸盐含量 Nitrate content(mg/kg)			
	K_0	K_{130}	K_{260}	均值 Mean	K_0	K_{130}	K_{260}	均值 Mean	K_0	K_{130}	K_{260}	均值 Mean
P_0	2.88	3.08	3.22	3.06 b	0.85	0.85	0.83	0.84 b	154.50	132.26	131.32	139.36
P_{90}	3.49	3.43	3.45	3.46 a	0.88	0.98	0.85	0.90 a	146.96	142.44	144.93	144.78
P_{130}	3.40	3.44	3.61	3.48 a	0.90	1.03	0.90	0.94 a	109.68	160.63	167.70	146.00
P_{170}	3.30	3.31	3.44	3.35 a	0.93	0.96	0.92	0.94 a	119.45	154.40	146.28	140.04
均值 Mean	3.27	3.32	3.43		0.89 b	0.96 a	0.88 b		132.65 b	147.43 a	147.56 a	

注(Note)：同列或同行数据后不同字母分别表示差异达5%显著水平 Values followed by different letters in the same column or row are significantly different at the 5% level.

表4 磷钾肥配施对砂田西瓜养分积累和利用的影响

Table 4 Effects of different fertilizers on nutrient accumulation and utilization of watermelon

处理 Treat	氮积累总量 NAA (kg/hm^2)	氮肥偏生产力 NPFP (kg/kg)	磷积累总量 PAA (kg/hm^2)	磷肥利用率 PRE (%)	钾积累总量 KAA (kg/hm^2)	钾肥利用率 KRE (%)
K_0P_0	80.24 f	131.79 efg	10.25 ef		48.80 f	
K_0P_{90}	109.74 bcd	152.08 def	17.62 cd	8.19 ab	61.91 de	
K_0P_{130}	123.39 bc	184.65 b	21.95 ab	8.00 ab	72.42 bc	
K_0P_{170}	108.41 cd	173.14 bcd	17.79 cd	4.43 c	64.86 cd	
$K_{130}P_0$	76.86 f	122.85 g	11.03 ef		51.51 f	2.08 d
$K_{130}P_{90}$	119.75 bc	193.58 b	20.22 bc	10.21 a	74.41 bc	19.70 a
$K_{130}P_{130}$	124.22 b	172.06 bcd	18.39 bcd	5.66 bc	74.98 b	20.14 a
$K_{130}P_{170}$	101.47 de	154.21 cde	17.65 cd	3.89 c	67.89 bcd	14.68 ab
$K_{260}P_0$	76.67 f	129.56 fg	9.99 f		54.44 ef	2.17 d
$K_{260}P_{90}$	91.26 ef	157.36 cd	15.08 de	5.65 bc	62.38 de	5.22 cd
$K_{260}P_{130}$	118.56 bc	178.00 bc	19.10 bcd	7.01 abc	73.91 bc	9.66 bc
$K_{260}P_{170}$	147.02 a	225.09 a	24.20 a	8.36 ab	92.40 a	16.77 a

注(Note)：NAA—N accumulation amount; NPFP—N partial factor productivity; PAA—P accumulation amount; PRE—P recovery efficiency; KAA—K accumulation amount; KRE—K recovery efficiency. 同一列数据后不同字母表示处理间差异达5%显著水平 Values followed by different letters in the same column are significant at the 5% level.

3 讨论与结论

磷是植物生长发育必需的大量营养元素，是核酸、植素和卵磷脂的重要组成成分，它在能量、糖分代谢、酶促反应和光合作用等过程中起着重要的作用，众多研究表明，磷对农作物产量的形成及品质

的改善有着重要的影响[21-23]。在土壤缺磷和磷素水平正常的情况下,施用磷肥能增加作物的产量[24]。本试验土壤严重缺磷(土壤速效磷 < 5 mg/kg),就磷肥对西瓜产量、品质的单因素分析表明,增施磷肥能显著提高西瓜的单果重和产量,而对西瓜产量的提高幅度大于单瓜重,因此对单瓜数的影响更为明显。本试验西瓜产量和含糖量均以施磷量在 P_2O_5 130 ~ 170 kg/hm^{2}时最高并趋于稳定,这与前人研究结果基本相似,陈钢等[4]和魏荔等[10]研究均表明,西瓜产量和品质随施磷量的增加表现出先增加后降低的趋势,当施磷量为 P_2O_5 150 kg/hm^{2}时,西瓜产量和含糖量最高,继续增加施磷量则呈下降趋势。已有研究表明[25-26],增施磷素可通过促进氮的代谢,提高生物或经济产量,本研究也表明,适量增施磷肥可提高西瓜氮素的吸收和积累。在品质指标中,施磷对西瓜含糖量影响最为显著,这是由于在一定的范围内随着磷用量的增加,蔗糖磷酸合成酶(SPS) 和蔗糖合成酶(SS)活性显著提高[25]。

西瓜对于钾的需求量很大,适量施钾具有促进光合产物合成和运输的功能,且可提高蔗糖合成酶(SS)活性[25],有利于提高西瓜单瓜重、产量和含糖量。王西和等[27]研究表明,随着钾肥施用量的增加,施钾可增产 5569 ~ 9915 kg/hm^2,增幅 12.1% ~ 21.5%,并显著提高西瓜 Vc 含量 46.6% ~ 76.4%;宋桥生等[28]研究表明,在一定的范围内,随着 K_2O 用量的上升,西瓜产量增加,但当每公顷 K_2O 用量达到 360 kg 以后,西瓜产量开始呈下降趋势;钾用量越大,可溶性糖含量越高,但到一定的量后,增加趋势渐缓。李云祥等[9]通过甘肃旱砂田西瓜施肥效应研究表明,钾肥施用量在 150 ~ 225 kg/hm^2 范围内较经济合理,产投比可达 6 以上,钾肥净增收益达到 5106 ~ 5715 元/hm^2。本试验土壤为中等钾水平(67 ~ 125 mg/kg),当地传统砂田西瓜种植不施钾肥,而从本研究钾肥对西瓜生长、产量和品质的单因素效应分析可知,增施钾肥可显著提高西瓜的光合速率和蒸腾速率,产量和品质也随之提高。

以往对西瓜最佳施肥量和施肥比例的研究结果都不尽相同,张玉凤等[29]研究表明,西瓜优化施肥的氮、磷、钾用量分别为 280 kg/hm^2、114 kg/hm^2、360 kg/hm^2,相应 N、P_2O_5、K_2O 比例为 1∶0.41∶1.28;陈丁红等[30]研究表明,西瓜"科农 9 号"的适宜施肥量 N、P_2O_5、K_2O 分别为 207 kg/hm^2、52.5 kg/hm^2 和 187.5 kg/hm^2,相应的施肥比例为 1∶0.25∶0.91;叶林等[31]通过对日光温室西瓜的适宜施肥量研究表明,当氮、磷、钾用量分别为 717 kg/hm^2、225 kg/hm^2、717 kg/hm^2,N、P_2O_5、K_2O 比例为 1∶0.31∶1 时,西瓜产量最高,这主要与土壤基础肥力、试验品种、栽培模式等不同有密切关系。本试验结果表明,在旱砂田低肥力条件下,氮、磷、钾肥配施对西瓜光合、产量、品质和养分积累利用均有显著影响,且均以磷肥的影响较大,钾肥次之,表现出在低钾条件下,各指标随施磷量的增加呈现先增加后降低趋势;在高钾条件下,西瓜产量则随施磷量的增加而增加,西瓜"陇抗 9 号"品种的最优施肥量为 N 200 kg/hm^2、P_2O_5 170 kg/hm^2、K_2O 260 kg/hm^2,N∶P_2O_5∶K_2O = 1∶0.85∶1.3,磷所占施肥比例高于其他研究,这主要是由于试验区土壤基础肥力较低,尤其速效磷含量偏低,按我国现行土壤肥力标准来划分,本试验土壤中磷已经成为了产量的限制因素,故西瓜的磷肥效应大于钾肥,而氮、磷、钾肥合理配施是西瓜高产、优质的基础。

参 考 文 献:

[1] 唐粉玲,张如莲. 西瓜施肥研究进展[J]. 安徽农业科学, 2007, 35(26): 8195-8196.
Tang F L, Zhang R L. Research advance of watermelon fertilization[J]. Journal of Anhui Agricultural, 2007, 35(26): 8195-8196.

[2] 陈钢,宋桥生,吴礼树,等. 不同供氮水平对西瓜产量和品质的影响[J]. 华中农业大学学报, 2007, 26(4): 472-475.
Chen G, Song Q S, Wu L S *et al*. Effect of different nitrogen levels on yield and quality of watermelon[J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 2007, 26(4): 472-475.

[3] 陈钢,王宏太,丁萌,等. 西瓜矿质营养与施肥研究综述[J]. 长江蔬菜,2006(3): 37-39.
Cheng G, Wang H T, Ding M *et al*. Study on nutrition and fertilization of watermelon[J]. Journal of Changjiang Vegetables, 2006, (3): 37-39.

[4] 陈钢,吴礼树,李煜华,等. 不同供磷水平对西瓜产量和品质的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2007, 13(6): 1189-1192.
Cheng G, Wu L S, Li Y H *et al*. Effect of different phosphorous supply levels on yield and quality of watermelon [J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2007, 13(6): 1189-1192.

[5] 朱洪勋,张翔,沈阿林,孙春河. 西瓜需肥特点与平衡施肥研究[J]. 园艺学报, 1996, 23(2): 145-149.
Zhun H X, Zhang X, Shen E L, Sun C H. Study on nutrients uptake and balanced fertilization of watermelon [J]. Acta Horticulturae Sinica, 1996, 23(2): 145-149.

[6] 王坚. 中国西瓜甜瓜[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000. 116-117.
Wang J. Chinese watermelon and muskmelon[M]. Beijing: China Agricultural Press, 2000. 116-117.

[7] 鲁运江. 氮肥不同用量对西瓜产量和品质的影响[J],土壤肥

料, 1997, (4): 48-51.
Lu Y J. Effect of different nitrogen fertilizer dosage on yield and quality of watermelon[J]. Soils and Fertilizer Sciences in China, 1997, (4): 48-51.

[8] 孟丽娟. 西瓜需肥特点及高产高效施肥模型[J]. 现代农业, 1999, (11): 14-16.
Meng L J. Watermelon nutrient characteristics and application of high yield model[J]. Modern Agricultural Science, 1999, (11): 14-16.

[9] 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.
Li Y X, Wang G Y, Wan B Q *et al*. The effect and benefit of balanced fertilization to watermelon in sand land in the middle area of Gansu province[J]. Chinese Journal of Soil Science, 2008, 39(2): 453-455.

[10] 魏荔,张怀文,张静,等. 不同氮磷钾肥料用量对西瓜产量及品质的影响[J]. 中国农技推广, 2010, 26(12): 33-34.
Wei L, Zhang H W, Zhang J *et al*. the effects of fertilization amount on yield and quality of watermelon [J]. China Agricultural Technology Extension, 2010, 26(12): 33-34.

[11] 黄凌云. 氮钾配施对西瓜产量和可溶性糖的影响[J]. 浙江农业科学, 2011, (2): 266-267.
Huang L Y. The effects of combined application of N and K on the yield and soluble sugar of watermelon[J]. Journal of Zhejiang Agricultural Sciences, 2011, (2): 266-267.

[12] 刘谦和,李志强. 砂田土壤的水蒸发特征和温度变化[J]. 甘肃农业科技, 1993, (8): 26-28.
Liu Q H, Li Z Q. Feature of soil water evaporation and temperature dynamics of gravel mulched soil [J]. Gansu Agricultural Science and Technology, 1993, (8): 26-28.

[13] 许强,强力,吴宏亮,等. 砂田水热及减尘效应研究[J]. 宁夏大学学报(自然科学版), 2009, 30(2): 180-182.
Xu Q, Qiang L, Wu H L *et al*. Study on sandy-field ecosystem effection[J]. Journal of Ningxia University (Natural Science Edition), 2009, 30(2): 180-182.

[14] Modaihsh A S, Horton R, Kirkham D. Soil water evaporation suppression by sand mulches[J]. Soil Science, 1985, 139: 357-361.

[15] William J, Gale R W, McColl. Sandy fields traditional farming for water conservation in China[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 1993, 48: 474-477.

[16] Nachtergate J, Poesen J W, Van Wesemael B. Gravel mulching in vineyards of southern Switzerland [J]. Soil & Tillage Research, 1998, 46: 51-59.

[17] 陈年来,刘东顺,王晓巍,等. 甘肃砂田的研究与发展[J]. 中国瓜菜, 2008, (2): 29-31.
Chen N L, Liu D S, Wang X W *et al*. Research and development of gravel mulch production in Gansu province [J]. China Cucurbits and Vegetables, 2008, (2): 29-31.

[18] 马忠明,杜少平,薛亮. 砂田西瓜甜瓜生产现状、存在的问题及其对策[J]. 中国瓜菜, 2010, 23(3): 60-63.
Ma Z M, Du S P, Xue L. The countermeasures research on the present condition and problems of melon in gravel mulched-field [J]. China Cucurbits and Vegetables, 2010, 23(3): 60-63.

[19] 郝建军. 植物生理学实验技术[M]. 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 2001. 89-92.
Hao J J. Experimental technique in plant physiology [M]. Shenyang: Liaoning Science and Technology Press, 2001. 89-92.

[20] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000. 132-148.
Bao S D. Soil agricultural chemistry analysis [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2000. 132-148.

[21] 黄绍文,孙桂芳,金继运,等. 氮、磷和钾营养对优质玉米籽粒产量和营养品质的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2004, 10(3): 225-230.
Huang S W, Sun G F, Jin J Y *et al*. Effect of nitrogen, phosphorus and potassium application on grain yield and qualities of high-oil and high-starch corn[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2004, 10(3): 225-230.

[22] 王洋,李东波,齐晓宁,李泽兴. 不同氮、磷水平对耐密型玉米籽粒产量和营养品质的影响[J]. 吉林农业大学学报, 2006, 28(2): 183-186.
Wang Y, Li D B, Qi X N, Li Z X. Effect of nitrogen, phosphorus levels on grain yield and qualities of compact corn [J]. Journal of Jilin Agricultural University, 2006, 28(2): 183-186.

[23] 徐关印,刘保明,韩宝坤,等. 不同供磷水平对小麦植株蔗糖含量和农艺性状的影响[J]. 核农学报, 2005, 19(3): 219-221.
Xu G Y, Liu B M, Han B K *et al*. Effects of different levels of phosphorus fertilizer on sucrose contents and agronomic traits in wheat[J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2005, 19(3): 219-221.

[24] 鲁剑巍,陈防,张竹青. 磷肥用量对油菜产量、养分吸收及经济效益的影响[J]. 中国油料作物学报, 2005, 27(1): 73-76.
Lu J W, Chen F, Zhang Z Q. Effect of phosphor application rate on rapeseed yield, nutrient absorption and profit[J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 2005, 27(1): 73-76.

[25] 李冬梅,魏珉,张海森,王秀峰. 氮、磷、钾用量和配比对温室黄瓜叶片相关代谢酶活性的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2006, 12(3): 382-387.
Li D M, Wei M, Zhang H S, Wang X F. Effects of N, P, K rates and ratios on activities of metabolism enzymes in leaves of cucumber in greenhouse [J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2006, 12(3): 382-387.

[26] 王旭东,于振文,石玉,王小燕. 磷对小麦旗叶氮代谢有关酶活性和籽粒蛋白质含量的影响[J]. 作物学报, 2006, 32(3): 339-344.
Wang X D, Yu Z W, Shi Y, Wang X Y. Effects of phosphorus on activities of enzymes related to nitrogen metabolism in flag leaves and protein contents in grains of wheat [J]. Acta Agronomica Sinica, 2006, 32(3): 339-344.

[27] 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): 2001-2004.
Wang X H, Liu H, Zhang Y, Hu W. Effects of different potassium levels on yield and quality of watermelon[J]. Xinjiang Agricultural Sciences, 2010, 47(10): 2001-2004.

[28] 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.
Song Q S, Chen G, Wu L S *et al*. Effect of different potassium supply levels on yield and quality of watermelon[J]. Hubei Agricultural Sciences, 2007, 46(5): 732-734.

[29] 张玉凤,董亮,刘兆辉,等. 不同肥料用量和配比对西瓜产量、品质及养分吸收的影响[J]. 中国生态农业学报,2010,18(4): 765-769.
Zhang Y F, Dong L, Liu Z H *et al*. Effects of fertilization amount and ratio on yield, quality and nutrient absorption of watermelon [J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2010, 18(4): 765-769.

[30] 陈丁红,胡国成,周昌豪,等. 氮磷钾配施对西瓜科农 9 号产量和品质的影响[J]. 浙江农业科学,2012, (7): 975-976.
Chen D H, Hu G C, Zhou C H *et al*. The effects of combined application of N, P and K on the yield and quality of Kenong 9 watermelon[J]. Journal of Zhejiang Agricultural Sciences, 2012, (7): 975-976.

[31] 叶林,李建设,高艳明. 氮磷钾施用量与日光温室西瓜产量的相关性研究[J]. 农业科学研究, 2008, 29(1): 22-24.
Ye L, Li J S, Gao Y M. Correlation studies between application rates of N, P, K and yield of watermelon in sunlight greenhouse [J]. Journal of Agricultural Sciences, 2008, 29(1): 22-24.