

土壤速效磷浓度对立架甜瓜生物量和磷素累积特征的影响

陈波浪, 吴海华, 罗佳, 郝丽娜, 盛建东, 齐晓晨
(新疆农业大学草业与环境科学学院, 新疆 乌鲁木齐 830052)

摘要:以喀什地区立架伽师瓜为研究材料, 试验设置 6 个水平(0、150、225、300、375 和 450 kg·hm⁻²)施磷量的田间试验, 研究土壤速效磷(Olsen_P)浓度对立架甜瓜生物量和磷素累积特征的影响。结果表明, 施磷条件下立架甜瓜田间土壤 Olsen_P 浓度的动态变化可用三次函数方程模拟, 立架甜瓜生物量、磷素累积动态遵循 Logistic 曲线; 土壤 Olsen_P 浓度快速下降期的平均速率、持续时间分别与立架甜瓜生物量、磷素快速累积期的最大相对累积速率、持续时间存在显著或极显著的相关性; 在 150~225 kg·hm⁻²施磷量条件下, 土壤 Olsen_P 浓度快速下降期的平均速率(0.078~0.108 mg·d⁻¹)和持续时间(36.1~52.0 d)最佳, 立架甜瓜生物量和磷素快速累积期的累积特征值, 生物量、磷素累积特征值、产量以及品质均最优, 其中生物量和磷素累积理论最大值以及产量分别达 515.8~529.2 g·株⁻¹, 1 791.4~1 895.2 mg·株⁻¹和 68 972.0~71 037.6 kg·hm⁻²。高施磷量(450 kg·hm⁻²)和不施磷(0 kg·hm⁻²)均不利于立架甜瓜生物量和磷素的累积。土壤 Olsen_P 浓度的动态变化能响应立架甜瓜生物量和磷素的累积状况, 尤其是合理施用磷肥(150~225 kg·hm⁻²)可调节立架甜瓜田间土壤 Olsen_P 浓度的动态变化, 优化立架甜瓜生物量和磷素的累积以及提高其产量和品质。

关键词: 立架甜瓜; 速效磷; 生物量; 磷素; 累积; 产量; 品质
中图分类号: S143.2; S652 **文献标志码:** A

Effects of soil Olsen_P concentration on biomass and phosphorus accumulation characteristics of trellis-cultivated melon

CHEN Bo-lang, WU Hai-hua, LUO Jia, HAO Li-na, SHENG Jian-dong, QI Xiao-chen
(College of Pratacultural and Environmental Science, Xinjiang Agriculture University, Urumqi, Xinjiang 830052, China)

Abstract: Phosphorus is the main nutrient factors improving trellis-cultivated melon yield and quality. This study aims to investigate the response of soil available phosphorus variation of different phosphorus levels and growth of trellis-cultivated melon, providing theoretical basis for the reasonable application of phosphate fertilizer in trellis-cultivated melon production. The effects of soil Olsen_P concentration on biomass and phosphorus accumulation of trellis-cultivated melon was investigated by applying six levels of phosphorus fertilizer (0, 150, 225, 300, 375 kg·hm⁻² and 450 kg·hm⁻²), under field experiment of planting melon in Kashgar. The results showed the change of soil Olsen_P concentration could be simulated with a cubic function, biomass and phosphorus accumulation of trellis-cultivated melon with logistic formula. Average rate and duration for the soil Olsen_P concentration reduction rate had significant or extremely significant correlation with the maximum rate and duration of accumulation of biomass and phosphorus. Under the P level between 150 kg·hm⁻² to 225 kg·hm⁻², the soil Olsen_P had optimal average reduction rate (0.078~0.108 mg·d⁻¹) and duration (36.1~52.0 d), trellis-cultivated melon had optimal biomass and phosphorus accumulation eigenvalues, and had the highest yield and optimal quantity. The maximum value of biomass and phosphorus accumulation as well as yield of trellis-cultivated melon in 150 kg·hm⁻² and 225 kg·hm⁻² treatments were 515.8~529.2 g·plant⁻¹, 1791.4~1895.2 mg·plant⁻¹ and 68972.0~71037.6 kg·hm⁻², respectively. high (450 kg·hm⁻²) or low(0 kg·hm⁻²) phosphorus application was not favorable for biomass and phosphorus accumulation. The dynamic change of soil Olsen_P concentration responded to the biomass and phosphorus accumulation of trellis-cultivated melon. The optimal phosphorus ap-

plied level between $150 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ to $225 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ can regulate soil Olsen_P concentration, and be beneficial for optimizing biomass and phosphorus accumulation characteristics, yield and quality.

Keywords: trellis-cultivated melon; soil Olsen_P; biomass; phosphorus; accumulation; yield; quality

立架甜瓜是一种集高密度、覆膜、立架于一体的立体种植模式,其优点是高产、高效、少病害^[1]。目前,其已成为新疆南部喀什地区露地甜瓜生产的主要种植模式^[2],面积达 1 万多 hm^2 。实地调查表明^[3],该地区立架甜瓜施磷量变幅很大(P_2O_5 : $33 \sim 660 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$),且 $\text{N}:\text{P}_2\text{O}_5:\text{K}_2\text{O}$ 的施用比例为 $1:1.4:0.9$,致使磷素养分所占比例过高,这不仅增加瓜农的投资成本,而且导致立架甜瓜磷肥利用率低、产量下降。甜瓜对磷素的需求主要通过根系从土壤中获取^[4],土壤中磷含量尤其是土壤有效磷含量变化显著影响甜瓜生长以及养分和光合产物的积累与分配。

土壤有效磷是土壤磷库中对作物最为速效的部分,能直接供作物吸收利用,是评价土壤供磷能力的重要指标。土壤速效磷含量主要受磷肥种类、数量以及作物根际环境调节^[5-6],大多集中在土壤表层,且随甜瓜生长呈动态变化^[7]。生物量反映光合产物的分配,是甜瓜产量和品质形成的基础,其积累是以养分吸收为前提的,养分的吸收积累将影响甜瓜产量和品质^[8-9],而土壤肥力尤其是作物三要素含量的差异显著影响甜瓜生物量和养分吸收积累^[2]。前人在水分与养分对甜瓜生物量累积和养分吸收积累方面的研究较多^[8-10],有关甜瓜生物量和养分积累随时间的变化符合 Logistic 模型也有报道^[9,11-13],但有关磷素尤其是磷肥施入土壤后土壤速效磷(Olsen_P)浓度的变化对立架甜瓜生物量和磷素累积特征值的影响尚未见报道。

立架甜瓜是新疆南部喀什地区应对该区域人多地少而发展的一种新型立体栽培农业,而与该模式相应的水肥管理措施还不完善,尤其是当地农民盲目大量投入磷肥的现象较普遍^[3],致使立架甜瓜生产中磷肥过量施用。因此,在新疆南部喀什地区极端干旱气候条件下通过设置不同施磷量试验,研究土壤速效磷(Olsen_P)浓度变化对施磷量的响应,以及立架甜瓜生物量和磷素累积的关系,为该地区立架甜瓜高产优质的磷素资源管理提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验于 2012 年 4—9 月在新疆喀什地区岳普湖县岳普湖乡 3 村($39^\circ 12' 44.88''\text{N}$, $76^\circ 45' 38.02''\text{E}$)进行,供试品种为伽师瓜,该甜瓜品种被广泛种植于新疆喀什地区,种子由新疆哈密瓜种业有限责任公司

生产。试验区土壤类型为灌耕草甸土, pH 值为 8.15,有机质含量为 $18.78 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,全氮、全磷、全钾含量分别为 1.58 、 1.01 、 $11.71 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,碱解氮、速效磷、速效钾含量分别为 56.2 、 15.0 、 $205 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

试验设 6 个施磷水平, P_2O_5 的用量分别为: 0 、 150 、 225 、 300 、 375 、 $450 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,重复 4 次,随机区组排列。各处理施用等量的氮肥($\text{N} 300 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)和钾肥($\text{K}_2\text{O} 150 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$),磷肥和钾肥作为基肥一次性施入,尿素施用量以 60% 作基肥,40% 在膨果前期追施。小区面积为 20 m^2 ($2 \text{ m} \times 10 \text{ m}$),小区一膜 2 行,株行距 0.35 、 0.6 m ,密度为每公顷 30 000 株,单蔓整枝,预留结果部位(坐果子蔓在主蔓上的位置)为 11~13 节,每穴 1 株,每株 1 枚果实。种植模式为全立架露地栽培,肥料品种为尿素($\text{N} 46\%$)、重过磷酸钙($\text{P}_2\text{O}_5 46\%$)和硫酸钾($\text{K}_2\text{O} 40\%$)。各处理水量相同,灌水时间分别在蹲苗后期、伸蔓期、开花坐果期和膨果期。田间管理均按当地高产栽培要求进行。

1.2 测定指标及方法^[14]

分别于出苗后 10、35、60、85 d 和 110 d 取植物样及土样。将整株甜瓜挖出,迅速带回室内依根、茎蔓、叶、生殖器官(花或果实)分解,在 105°C 杀青 30 min 后, 70°C 下烘至恒重,依各器官称量后粉碎。采用多点混合法在垄内采集 $0 \sim 30 \text{ cm}$ 耕层土壤,自然风干后 100 目过筛。植株样品采用 $\text{H}_2\text{SO}_4 - \text{H}_2\text{O}_2$ 浸提,磷素用钒钼酸铵比色法测定,土壤速效磷用 $0.5 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{NaHCO}_3$ 浸提,钼锑抗比色法测定。

于 2012 年 8 月 9 日对小区的甜瓜果实进行测产,即统计每小区的果实数量并在每小区内随机选取 30 枚果实称其质量,得到每个处理的平均果实质量,折算为公顷产量。测产后每处理随机选取 5 枚果实立刻送往农业部农产品质量监督检验测试中心(乌鲁木齐)进行品质参数的测定。主要测定的品质参数有果实横径、果实纵径、还原糖含量和维生素 C 含量。其中,纵横径采用精度为 0.02 mm 的游标卡尺进行测量,还原糖含量采用直接滴定法测定,维生素 C 含量采用 2,6-二氯酚酚滴定法测定。

1.3 相关参数计算和数据统计分析

采用 Logistic 方程拟合干物质及磷素积累变化: $y = k/[1 + e^{-(a+bt)}]$,式中 y 为甜瓜出苗后 t 天干物质积累量($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)及磷素积累量($\text{mg} \cdot \text{株}^{-1}$), t 为甜瓜出苗后天数(d), k 为干物质的最大积累量($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)及磷素积累量($\text{mg} \cdot \text{株}^{-1}$); a 、 b 为待定系数。

根据方程^[15]推导得到几个特征值:最快生长时间段的起始时间(t_1)= $\ln[(2+1.732)/(e^a)]/b$;终止时间(t_2)= $\ln[(2-1.732)/(e^a)]/b$;最大相对生长速率(V_m)= $-bk/4$;出现时间(t_m)= $-a/b$;快速增长持续时间(ΔT)= t_2-t_1 。

用 Microsoft Excel 2003 和 DPS 9.50 统计软件对上述测量结果进行作图及统计分析。

2 结果与分析

2.1 土壤速效磷(Olsen_P)浓度变化特征

由图 1 可知, P_2O_5 0 $kg \cdot hm^{-2}$ 处理土壤 Olsen_P 浓度随生育期推进呈下降的趋势, 二次函数将其模拟, 其 $R^2=0.9793$, 达显著水平。150~450 $kg \cdot hm^{-2}$ 处理土壤 Olsen_P 浓度随时间呈先升后降再微升的变化, 其三次函数模拟的 $R^2=0.9505 \sim 1.000$, 均达显著水平; 土壤 Olsen_P 浓度随施磷量的增加呈增加的趋势, 均显著高于对照处理(0 $kg \cdot hm^{-2}$)。

表 1 显示, 随施磷量的增加 T_{min} 呈现先升后降, 而 T_{max} 呈先降后升的趋势, ΔT 和 ΔV 在 150~375 $kg \cdot hm^{-2}$ 范围内随施磷量的增加均呈下降的趋势。综合 4 个特征值可见, 225 $kg \cdot hm^{-2}$ 处理下具有土壤 Olsen_P 浓度快速下降期相对的起止时间出现较早、持续时间较短、平均速率较大的特点。

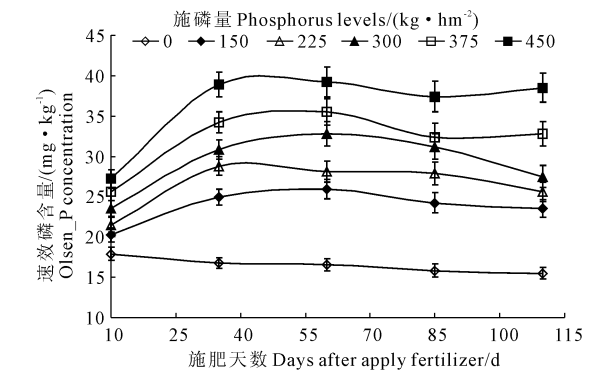


图 1 不同施磷量下土壤速效磷浓度的动态变化
Fig.1 Dynamic changes of soil Olsen_P under different phosphorus levels

2.2 立架甜瓜生物量累积特征

不同施磷量下立架甜瓜生物量累积均遵循 Logistic 方程(图 2 和表 2), 且均达极显著水平。由表 2 可知, 立架甜瓜生物量的 Mt_1 、 Mt_2 、 MT 、 MT_m 在 0~375 $kg \cdot hm^{-2}$ 随施磷量的增加呈上升趋势, 而在 450 $kg \cdot hm^{-2}$ 处理下其 4 个特征值均下降, V_m 和 k 则呈先升后降的趋势, 在 150 $kg \cdot hm^{-2}$ 和 225 $kg \cdot hm^{-2}$ 处理下有最大值, 与对照(0 $kg \cdot hm^{-2}$) 相比, 150 $kg \cdot hm^{-2}$ 和 225 $kg \cdot hm^{-2}$ 处理中 V_m 分别提高了 34.9%

和 33.4%。综合 6 个特征值可知, 150 $kg \cdot hm^{-2}$ 和 225 $kg \cdot hm^{-2}$ 处理下具有相对的生物量快速累积期起止时间早、持续时间短、最大相对生长速率大及出现时间早、生物量累积理论最大值大的特点。

表 1 施磷对立架甜瓜土壤速效磷浓度变化特征值的影响

Table 1 Effects of phosphorus levels on soil Olsen_P eigenvalues of trellis-cultivated melon				
施磷量 Phosphorus levels /($kg \cdot hm^{-2}$)	T_{min}/d	T_{max}/d	$\Delta T/d$	$\Delta V/(mg \cdot d^{-1})$
0	10.0d	110.0a	100.0a	0.024d
150	46.3c	98.3a	52.0b	0.108a
225	50.5bc	86.7b	36.1c	0.078b
300	66.5a	100.0a	33.5c	0.045c
375	53.4b	84.3b	30.9c	0.027d
450	53.2b	86.3b	33.1c	0.037cd

注: T_{min} —土壤 Olsen_P 浓度快速下降期的起始时间, T_{max} —终止时间, ΔT —持续时间, ΔV —平均速率。
Note: T_{min} —starting day, T_{max} —terminating day, ΔT —duration, ΔV —average rate for the soil Olsen_P concentration reducing, rapidly.

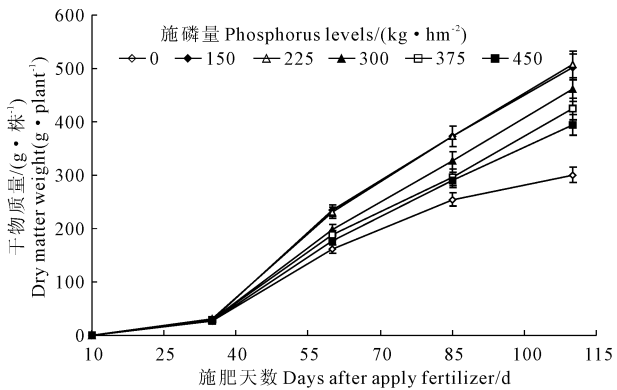


图 2 不同施磷量下甜瓜干物质质量的动态变化
Fig.2 Dynamic changes of dry matter accumulation of melon under different phosphorus levels

2.3 立架甜瓜磷素累积特征

图 3 显示, 不同施磷量下立架甜瓜磷素累积变化均符合“S”型曲线, 即前期积累缓慢, 中期快速增长, 后期又趋于平缓, 利用 Logistic 方程对其拟合均达极显著水平(表 3)。由表 3 可知, 立架甜瓜磷素累积的 MPt_1 、 MPt_2 、 MPT 、 MPT_m 随施磷量的增加呈先升后降的趋势, 在 375 $kg \cdot hm^{-2}$ 处理下出现拐点, MPV_m 和 MPk 也呈先升后降的趋势, 在 225 $kg \cdot hm^{-2}$ 处理下出现拐点。与对照相比, 225 $kg \cdot hm^{-2}$ 处理下 MPV_m 和磷素累积理论最大值分别提高了 43.5% 和 73.8%。同时, 综合 6 个特征值可知, 225 $kg \cdot hm^{-2}$

处理下具有相对的磷素快速累积期起始时间早、持续时间短、最大相对累积速率大、最大相对累积速率出现时间早、累积理论最大值大的特点。

表 2 施磷量对立架甜瓜生物量累积特征值的影响

Table 2 Effects of phosphorus levels on the biomass accumulation eigenvalues of trellis-cultivated melon

施磷量 Phosphorus levels /(kg·hm ⁻²)	方程 Equation	R ²	Mt ₁ /d	Mt ₂ /d	MT /d	MV _m /(g·d ⁻¹)	MT _m /d
0	$Y = 295.196 / [1 + e^{(5.0588 - 0.0860t)}]$	0.9950 ^{**}	43.51c	74.14b	30.63b	6.35b	58.83b
150	$Y = 515.865 / [1 + e^{(4.4044 - 0.0664t)}]$	0.9857 ^{**}	46.48b	86.13a	39.65ab	8.57a	66.30ab
225	$Y = 529.170 / [1 + e^{(4.3292 - 0.0641t)}]$	0.9870 ^{**}	47.03ab	88.15a	41.12a	8.47a	67.59a
300	$Y = 496.691 / [1 + e^{(4.2217 - 0.0596t)}]$	0.9877 ^{**}	48.75a	92.96a	44.21a	7.40ab	70.85a
375	$Y = 460.642 / [1 + e^{(4.0693 - 0.0572t)}]$	0.9837 ^{**}	48.12a	94.17a	46.05a	6.59b	71.15a
450	$Y = 412.422 / [1 + e^{(4.2908 - 0.0633t)}]$	0.9887 ^{**}	46.97b	88.56a	41.60a	6.53b	67.76a

注: Mt₁—立架甜瓜生物量快速累积期的起始时间, Mt₂—终止时间, MT—持续期, MV_m—最大相对累积速率, MT_m—最大相对累积速率出现时间(n = 6, R_{0.05}² = 0.6584, R_{0.01}² = 0.8413)。

Note: Mt₁—starting day, Mt₂—terminating day, MT—duration, MV_m—maximum relative accumulation rate, MT_m—starting day for the maximum relative accumulation rate of trellis-cultivated melon biomass accumulated rapidly(n = 6, R_{0.05}² = 0.6584, R_{0.01}² = 0.8413) .

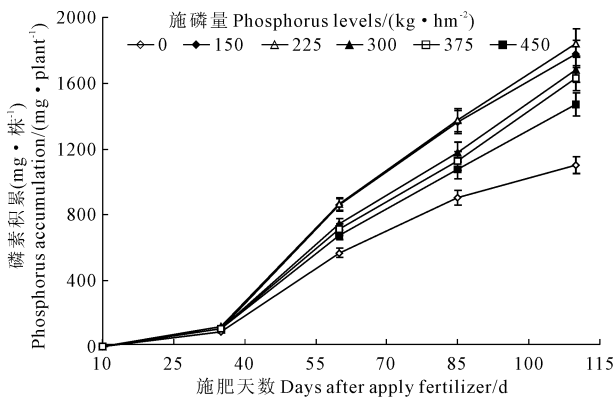


图 3 不同施磷量下甜瓜磷素累积量的动态变化
Fig.3 Dynamic changes of phosphorus accumulation of melon under different phosphorus levels

表 3 施磷量对立架甜瓜磷素累积特征值的影响

Table 3 Effects of phosphorus levels on the phosphorus accumulation eigenvalues of trellis-cultivated melon

施磷量 Phosphorus levels /(kg·hm ⁻²)	方程 Equation	R ²	MPt ₁ /d	MPt ₂ /d	MPT /d	MPV _m /(mg·d ⁻¹)	MPT _m /d
0	$Y = 1090.252 / [1 + e^{(4.8289 - 0.0798t)}]$	0.9930 ^{**}	44.03c	77.05b	33.02b	21.74b	60.54b
150	$Y = 1791.404 / [1 + e^{(4.5523 - 0.0710t)}]$	0.9871 ^{**}	45.55bc	82.64b	37.08b	31.81a	64.10ab
225	$Y = 1895.238 / [1 + e^{(4.3489 - 0.0658t)}]$	0.9864 ^{**}	46.04b	86.04ab	40.00ab	31.20a	66.04ab
300	$Y = 1821.311 / [1 + e^{(4.1027 - 0.0578t)}]$	0.9846 ^{**}	48.18a	93.73a	45.55a	26.33ab	70.96a
375	$Y = 1783.417 / [1 + e^{(4.0638 - 0.0565t)}]$	0.9846 ^{**}	48.59a	95.18a	46.59a	25.21b	71.88a
450	$Y = 1537.595 / [1 + e^{(4.2063 - 0.0623t)}]$	0.9866 ^{**}	46.38b	88.66ab	42.28a	23.95b	67.52a

注: MPt₁—立架甜瓜磷素快速累积期的起始时间, MPt₂—终止时间, MPT—持续期, MPV_m—最大相对累积速率, MPT_m—最大相对累积速率出现时间(n = 6, R_{0.05}² = 0.6584, R_{0.01}² = 0.8413)。

Note: MPt₁—starting day, MPt₂—terminating day, MPT—duration, MPV_m—maximum relative accumulation rate, MPT_m—starting day for the maximum relative accumulation rate of trellis-cultivated melon phosphorus accumulated rapidly(n = 6, R_{0.05}² = 0.6584, R_{0.01}² = 0.8413) .

ΔV 与 Mt₁、MT、MT_m、MPt₁、MPt₂、MPT、MPT_m 呈显著或极显著负相关,而与 MV_m、MPV_m 呈极显著正相关,说明,土壤 Olsen_P 浓度快速下降期的平均速率增加,则立架甜瓜生物量和磷素快速累积期起始时间可以提前,持续时间可以缩短,最大相对累积速率可以升高,就有利于立架甜瓜生物量和磷素累

积在短时间内完成。

表 4 立架甜瓜生物量累积特征值与土壤速效磷浓度变化特征值的相关性

Table 4 Correlationship between the soil Olsen_P eigenvalues and the biomass accumulation eigenvalues of trellis-cultivated melon						
土壤 Olsen_P 变化特征值 Eigenvalues of soil Olsen_P		生物量累积特征值 Biomass accumulation eigenvalues				
		Mt_1	Mt_2	MT	MV_m	MT_m
T_{min}		0.8915 **	0.6964	0.6019	-0.3888	0.7459
T_{min}		0.1510	-0.1466	-0.2504	0.4596	-0.0849
ΔT		-0.6586	-0.7439	-0.7504	0.7420	-0.7344
ΔV		-0.6774	-0.8064 *	-0.8266 *	0.9342 **	-0.7881

注: * 和 ** 表示相关的显著性分别达 0.05 和 0.01 水平 ($n = 5, R_{0.05} = 0.7500, R_{0.01} = 0.8745$)。下同。
Note: * and ** indicate significance at the $P < 0.05$ and $P < 0.01$ probability levels, respectively. The same below.

表 5 立架甜瓜磷素累积特征值与土壤速效磷浓度变化特征值的相关性

Table 5 Correlationship between the soil Olsen_P concentration eigenvalues and the phosphorus accumulation eigenvalues of trellis-cultivated melon						
土壤 Olsen_P 变化特征值 Eigenvalues of soil Olsen_P		磷量累积特征值 Phosphorus accumulation eigenvalues				
		MPt_1	MPt_2	MPT	MPV_m	MPT_m
T_{min}		0.7042	0.7265	0.7276	-0.5219	0.7250
T_{min}		-0.0883	-0.2002	0.2374	0.3479	-0.1769
ΔT		-0.7000	-0.8173 *	-0.8507 *	0.7629 *	-0.7955 *
ΔV		-0.7913 *	-0.8925 **	-0.9193 **	0.9387 **	-0.8743 *

由表 2 和表 3 可知,在 150 kg·hm⁻² 和 225 kg·hm⁻² 的施磷量下,立架甜瓜有最优的生物量和磷素累积特征值。 ΔV 和 ΔT 分别与 MV_m 、 MPV_m 、 MT 、 MPT 有较高的相关性,它们之间可用一次函数拟合,根据此函数关系可求出立架甜瓜最优的生物量和磷素累积特征值时的 ΔV 和 ΔT 分别为 0.095 mg·d⁻¹ 和 45.5 d、0.090 mg·d⁻¹ 和 41.0 d。

2.5 施磷量对立架甜瓜产量和品质的影响

由表 6 可知,随着施磷量的增加,立架甜瓜产量呈先升后降的趋势,在 150 kg·hm⁻² 和 225 kg·hm⁻² 的施磷量下立架甜瓜产量较高,较对照(0 kg·hm⁻²) 处理产量分别增加了 46.2% 和 41.9%,说明施磷尤

其是适量施磷有利于显著提高产量。立架甜瓜的果型指数、Vc 含量和还原糖含量均随施磷量的增加呈先升后降的趋势,在 150 kg·hm⁻² 和 225 kg·hm⁻² 的施磷量下各品质参数均显著高于对照(0 kg·hm⁻²)。

3 讨 论

立架甜瓜在不同施磷量处理下,其土壤 Olsen_P 浓度的动态变化可用二次和三次函数模拟,决定系数均达显著水平。适磷(225 kg·hm⁻²) 条件下,土壤 Olsen_P 浓度具有相对的快速下降期起止时间较早、持续时间较短、下降的速率较大的特点,而高磷(450 kg·hm⁻²) 条件下,土壤 Olsen_P 浓度快速下降期起止时间较晚、下降的速率小,低磷(0 kg·hm⁻²) 条件下,土壤 Olsen_P 浓度快速下降期持续时间较长、下降的速率小,说明高磷和低磷均不利于立架甜瓜对土壤 Olsen_P 的吸收利用。

作物生物量是衡量植株生长状况、内部代谢强弱和高产优质的指标之一。生物量和磷素的累积以养分的吸收为前提,土壤磷素状况对甜瓜生物量和磷素的累积至关重要。前人的研究^[16-19] 得出,适宜的施磷量有利于作物生物量和磷素的积累尤其利于其快速累积期理论最大累积量和最大累积速率增大。本试验结果显示,与适磷条件相比,高磷(450 kg·hm⁻²) 条件下出苗后 110 d 立架甜瓜生物量、磷素积累量分别下降了 22.4%、20.3%,低磷(0 kg·hm⁻²) 条件下分别下降了 40.9%、40.2%;高磷

表 6 施磷量对立架甜瓜产量和品质的影响				
Table 6 Effects of phosphorus rates on trellis-cultivated melon yield and fiber quality				
施磷量 Phosphorus levels /(kg·hm ⁻²)	产量 Yield /(kg·hm ⁻²)	果型指数 Index of fruit shape	Vc /(mg·100g ⁻¹)	还原糖 Reducing sugar /%
0	48599.3d	1.70b	1.41c	3.9b
150	71037.6a	1.75a	1.55ab	4.3a
225	68972.0ab	1.81a	1.62a	4.2a
300	64822.0bc	1.78a	1.49b	4.1ab
375	59813.2c	1.74ab	1.40c	3.9b
450	51871.8d	1.78a	1.30d	3.7b

注:同一列数据后不同字母表示在 0.05 水平上差异显著。

Note: values followed by different letters within a column are significant-ly different at the $P < 0.05$ probability level.

(450 kg·hm⁻²)条件下立架甜瓜生物量、磷素累积理论最大值分别下降了 22.1%、18.9%，低磷(0 kg·hm⁻²)条件下分别下降了 44.2%、42.5%；高磷(450 kg·hm⁻²)条件下立架甜瓜生物量、磷素最大累积速率分别降低了 1.94 g·d⁻¹、7.25 mg·d⁻¹，低磷(0 kg·hm⁻²)条件下分别降低了 2.12 g·d⁻¹、9.46 mg·d⁻¹。这说明不施磷和大量施磷条件下，立架甜瓜生物量和磷素累积最大累积速率小，不利于立架甜瓜生物量和磷素的快速累积，进而影响立架甜瓜的生物量和磷素积累、产量以及品质。而适磷(225 kg·hm⁻²)条件下立架甜瓜具有相对生物量和磷素快速累积期的起始时间较早，持续时间较短，最大累积速率较大，生物量和磷素积累量最大(图 2 和图 3)，产量最高和综合品质最优(表 6)。说明保持适宜的施磷量和土壤 Olsen_P 浓度有助于立架甜瓜生物量、磷素的快速累积以及产量和品质的提高。

磷在植物体内移动性相对较强，其移动量取决于作物生长发育阶段和供磷状况，立架甜瓜对磷素的吸收仅次于氮和钾素，土壤供磷水平对立架甜瓜生物量、磷素的累积有很大的调节作用。研究表明，土壤 Olsen_P 浓度随生育期变化的特征值与立架甜瓜生物量、磷素累积的特征值也有一定的相关性，其中 ΔT 与 MT 、 MPT 和 MPT_m 呈显著负相关，与 MPV_m 呈显著正相关，说明土壤 Olsen_P 快速下降期持续时间延长将会降低立架甜瓜生物量和磷素累积持续时间，但可以增加磷素累积平均速率，增加磷素营养，这一结果与前人^[15-16,18]在其他作物上的研究结果存在异同； ΔV 与 Mt_1 、 MT 、 MT_m 、 MPt_1 、 MPt_2 、 MPT 和 MPT_m 呈显著或极显著负相关，与 MV_m 和 MPV_m 呈极显著正相关，说明土壤 Olsen_P 浓度快速下降期的平均速率增加，将会提前立架甜瓜生物量和磷素快速累积期起始时间，缩短持续时间，提升最大相对累积速率，从而有利于立架甜瓜生物量和磷素累积在短时间内完成，这与宋为超^[15]研究土壤碱解氮浓度对棉花生物量和氮素积累的结果一致。

4 结 论

立架甜瓜出苗后 45~65 d(伸蔓期)至 85~100 d(果实膨大期)土壤 Olsen_P 浓度存在下降趋势，甜瓜生物量和磷素累积动态存在快速累积期。不施磷或大量施磷即土壤 Olsen_P 浓度过低或过高，将会降低土壤 Olsen_P 浓度快速下降期的平均速率。土壤 Olsen_P 浓度快速下降期的特征值(ΔT 和 ΔV)与立架甜瓜生物量、磷素快速累积期的特征值存在一定的相关性。立架甜瓜生物量和磷素快速累积期所

具有的最佳特征值与 150 kg·hm⁻²和 225 kg·hm⁻²处理下土壤 Olsen_P 浓度快速下降期的特征值比较接近。施磷控制在 150~225 kg·hm⁻²下有最大的生物量、磷素积累量以及产量和最优的综合品质。合理的施磷量和保持适宜的土壤 Olsen_P 浓度，有利于立架甜瓜生物量和磷素的快速累积以及产量和品质的提高。

参 考 文 献:

- [1] 王豪杰,李俊华,翟文强.喀什地区甜瓜全立架栽培高产因素研究[J].新疆农业科学,2013,50(10):1827-1833.
- [2] 陈波浪,吴海华,曹公利,等.不同肥力水平下立架栽培甜瓜干物质累积和氮、磷、钾养分吸收特性[J].植物营养与肥料学报,2013,19(1):142-149.
- [3] 郝丽娜,盛建东,陈波浪,等.南疆全立架立体栽培伽师瓜施肥现状调查研究[J].农学学报,2012,2(04):29-33.
- [4] 周 军,张立新,司立征,等.氮磷钾肥不同配比对甜瓜产量的效应[J].西北农业学报,2011,20(6):132-135.
- [5] 陈波浪,盛建东,蒋平安,等.磷肥种类和用量对土壤磷素有效性和棉花产量的影响[J].棉花学报,2010,22(1):49-56.
- [6] Zhang F S, Shen J P, Zhang J L, et al. Rhizosphere processes and management for improving nutrient use efficiency and crop productivity: implications for China[J]. Advances in Agronomy, 2010,107:1-32.
- [7] 李建明,王忠红,邹志荣.不同配比有机基质养分转化与甜瓜生长发育关系[J].沈阳农业大学学报,2006,37(3):427-431.
- [8] 胡国智,冯炯鑫,张 炎,等.不同施氮量对甜瓜养分吸收、分配、利用及产量的影响[J].植物营养与肥料学报,2013,19(3):760-766.
- [9] 陆雪锦,张 炎,胡国智,等.钾肥用量对甜瓜生长发育、产量及品质的影响[J].新疆农业科学,2012,49(12):2286-2291.
- [10] 崔 冲,常丽英,何三鹏,等.水分对温室网纹甜瓜植株形态与干物质分配影响的模拟[J].上海交通大学学报(农业科学版),2012,30(3):65-71,87.
- [11] 李建明,邹志荣,刘迎春,等.温度与水分驱动的甜瓜幼苗生长形态模拟模型研究[J].农业工程学报,2006,22(11):203-208.
- [12] 施泽平,郭世荣,康云艳,等.温室甜瓜光合生产与干物质积累模拟模型研究[J].果树学报,2006,23(3):420-426.
- [13] 谢恒星,蔡焕杰,张振华,等.基于主成分分析法的温室甜瓜生长方程研究[J].干旱地区农业研究,2009,27(6):134-138.
- [14] 鲍士旦.土壤化学分析[M].北京:中国农业出版社,2000:25-114.
- [15] 宋为超,刘春雨,徐 娇,等.初花后土壤碱解氮浓度对棉花生物量和氮素累积特征的影响[J].作物学报,2013,39(7):1257-1265.
- [16] 谢亚萍,闫志利,李爱荣,等.施磷量对胡麻干物质积累及磷素利用效率的影响[J].核农学报,2013,27(10):1580-1587.
- [17] 邓小燕,王小春,杨文钰,等.玉米/大豆和玉米/甘薯模式下玉米磷素吸收特征及种间相互作用[J].作物学报,2013,39(10):1891-1898.
- [18] 谢亚萍,李爱荣,闫志利,等.不同供磷水平对胡麻磷素养分转运分配及其磷肥效率的影响[J].草业学报,2014,23(1):158-166.
- [19] 周 涛,徐开未,王 科,等.麦-豆和麦/玉/豆体系中大豆的磷肥增产增效作用研究[J].植物营养与肥料学报,2015,21(2):336-345.