

# 磷肥用量对盆栽甜瓜产量及光合特性的影响

杨修一, 耿计彪, 戚兴超, 王晓琪, 张民, 李成亮

(山东农业大学 资源与环境学院, 土壤资源高效利用国家工程实验室, 山东 泰安 271018)

**摘要:**以甜瓜为试验材料, 采用盆栽试验结合常规测试的方法, 研究了不同磷肥用量对盆栽甜瓜产量、叶片生理特性及土壤有效磷含量的影响。结果表明: 在施氮量  $N(62 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{土})$  和施钾量  $K_2O(67 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{土})$  一致的基础上, 施磷量  $P_2O_5(32 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{土})$  处理显著提高了甜瓜产量, 达到了  $3.28 \text{ kg} \cdot \text{株}^{-1}$ , 较施磷量  $P_2O_5(0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{土})$  处理增产 17.56%, 同时增加了坐果数和平均单果质量。此外, 施磷量  $P_2O_5(32 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{土})$  处理显著增加了叶片 SPAD 值、叶绿素荧光指标和光合指标, 改善了叶片的光合性能, 增加了土壤有效磷含量。综上所述, 推荐施磷量  $P_2O_5(32 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{土})$  处理, 既保证了甜瓜的高产又维持了合理的肥料投入。

**关键词:** 磷肥; 甜瓜; 产量; 叶片光合性能; 土壤有效磷

**中图分类号:** S 652.606<sup>+</sup>.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-0009(2016)14-0171-04

甜瓜(*Cucumis melo*)属葫芦科黄瓜属一年生蔓性草本植物, 又名“香瓜”, 其果实香甜营养, 是世界公认的十

大水果之一<sup>[1]</sup>。近年来, 甜瓜作为重要的经济作物, 人们对于甜瓜的需求越来越大, 其栽培面积迅速扩大。我国主张高效农业, 即提高单位投入和单位面积的产品数量和质量<sup>[2]</sup>, 甜瓜栽培作为我国农业重要的一部分, 如何提高其产量意义非凡。

**第一作者简介:** 杨修一(1992-), 男, 山东济宁人, 硕士研究生, 研究方向为土壤肥科学及环境效应。E-mail: woshiyangxiuyi@163.com.

**责任作者:** 李成亮(1976-), 男, 博士, 教授, 主要从事土壤肥科学及环境效应研究。E-mail: chengliang\_li11@163.com.

**基金项目:** “十二五”国家科技支撑计划(2011BAD11B01.02)和国家“948”重点项目(2011-G30)。

**收稿日期:** 2016-03-11

众所周知, 施肥是提高作物单位面积产量的重要措施, 只有在正确理论指导下的施肥才能显著地提高作物产量。磷是植物生长发育的必需营养元素之一, 它是植物体内许多重要有机化合物的组分, 并广泛参与植物体

## Different Application Amounts of Phosphorus on Commodity Quality and Main Effective Components of *Lycium barbarum* L.

LIU Jianwen<sup>1</sup>, ZHENG Guoqi<sup>2</sup>, LIU Genhong<sup>1</sup>, YANG Jide<sup>2</sup>, XU Xing<sup>1</sup>

(1. College of Agriculture, Ningxia University, Yinchuan, Ningxia 750021; 2. College of Life Science, Ningxia University, Yinchuan, Ningxia 750021)

**Abstract:** Taking annual *Lycium barbarum* L. ‘Ningqi No. 1’ as the test material, and adopted single factor randomized block experimental design, the influence of different quantity of phosphorus application on the commercial quality and medicinal quality of wolfberry fruits were studied. The results showed that, appropriate quantity of phosphate fertilizer could significantly promote the growth of vertical diameter of wolfberry fruit, but had no significant effect on horizontal diameter of the fruit. The weight of 100 wolfberry fruits and the content of soluble sugar were positively related to the quantity of applied phosphate fertilizer; the application quantity of phosphate fertilizer had no remarkable influence on the content of *Lycium barbarum* polysaccharide and betaine, but had significant influence on the flavonoid content in wolfberry. According to comprehensive consideration on the influence of different quantity of applied phosphate fertilizer to the quality indices of wolfberry and the price of phosphate fertilizer, the optimal quantity of phosphate fertilizer to be applied to wolfberry was  $20 \text{ kg} \cdot (667 \text{ m}^2)^{-1}$ .

**Keywords:** phosphorus fertilizer; application amounts; *Lycium barbarum* L.; quality

内的各种代谢活动,对植物的光合作用及生物合成等都有影响<sup>[3]</sup>。具体表现为:缺磷时,植物细胞分裂迟缓,新细胞难以形成,影响植物的营养生长;磷过量时,由于植物呼吸作用增强,消耗大量的糖分和能量,也会因此产生不良影响<sup>[4]</sup>。目前,甜瓜上的肥效研究主要集中在氮肥<sup>[5-6]</sup>和钾肥<sup>[7-8]</sup>上,而其施用磷肥效益的研究鲜有报道。因此,通过施用不同用量磷肥对盆栽甜瓜产量及光合特性影响的研究,探究在甜瓜上施用磷肥的最佳用量,以期对甜瓜施磷提供一定的理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地概况

试验地点设在山东省泰安市山东农业大学土肥资源高效利用国家工程实验室和国家缓控释肥工程技术研究中心的中试基地进行,地处东经 117°8'41.82",北纬 36°9'46.52",属暖温带半湿润季风气候,年平均气温 13.0℃,年平均降水量 750 mm。

### 1.2 试验材料

供试土壤采自山东省东营市利津县毛坨村,土壤类型为盐化潮土,土壤有机质含量 13.3 g·kg<sup>-1</sup>,全氮含量 1.15 g·kg<sup>-1</sup>,硝态氮含量 10.04 mg·kg<sup>-1</sup>,铵态氮含量 14.49 mg·kg<sup>-1</sup>,有效磷含量 17.61 mg·kg<sup>-1</sup>,速效钾含量 122.51 mg·kg<sup>-1</sup>,土壤 pH(水:土=5:1) 8.17,全盐含量 0.16%。供试肥料为大颗粒尿素(含 N 量 46%)、过磷酸钙(含 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 量 12%)、硫酸钾(含 K<sub>2</sub>O 量 50%)。供试甜瓜品种为“花仙子”,生长期约为 70 d。

### 1.3 试验方法

采用单因素盆栽试验,设 5 个处理:1)CK,不施肥对照处理;2)FP,不施磷肥对照处理;3)LP,施低量磷肥(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:16 mg·kg<sup>-1</sup>土)处理;4)IP,施中量磷肥(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:32 mg·kg<sup>-1</sup>土)处理;5)HP,施高量磷肥(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:48 mg·kg<sup>-1</sup>土)处理。除 CK 外,其它处理施用相同的氮肥(N:62 mg·kg<sup>-1</sup>土)和钾肥(K<sub>2</sub>O:67 mg·kg<sup>-1</sup>土),所有肥料均一次性基施。将称好的土和所有肥料倒在 1.5 m×1.5 m 塑料布上,充分混匀后,装入盆中,每个花盆装干土 30 kg。各处理重复 3 次,各盆随机排列。2015 年 4 月 27 日进行播种,待幼苗真叶展开 2 片后定植 1 株,在甜瓜整个生育期内按常规高产栽培模式进行田间管理。

### 1.4 项目测定

各处理甜瓜于成熟收获期(7 月 14 日)全部采收计产,并且记录采摘瓜个数并称重。收获后,取土样时利用土钻(Φ=3 cm)距根系 10 cm 对称取两钻土壤样品,带回实验室自然风干后,磨碎过 2 mm 筛和 0.25 mm 筛,供分析化验用。土壤有效磷用 0.5 mol·L<sup>-1</sup> NaHCO<sub>3</sub> 浸提后,用流动注射分析仪(Smartchem 200)测定。

在坐果期(6 月 20 日)选晴天用日本 Minolta 公司生产的 SPAD-502 叶绿素仪测定植株叶片 SPAD 值;叶片光合速率(Pn)采用 LI-6400 XT 便携式光合作用仪测定;叶绿素荧光参数使用英国 Hansatech 公司生产的 FMS-2 脉冲调制式荧光仪测定,时间为 09:00—11:00。

### 1.5 数据分析

试验数据采用 Excel 2003 和 SAS 8.0 软件进行处理和统计分析,采用 ANOVA 进行方差分析,不同处理间采用 Duncan's Multiple Range Test 方法检验各处理平均数在 P<0.05 水平的差异显著性。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同施磷量对甜瓜产量及产量构成因素的影响

由表 1 可知,施磷能显著提高甜瓜产量,增加坐果数和平均单果质量,并且随着磷肥用量的增加呈先增加后减少的趋势。4 个施磷处理较 CK(不施肥对照)处理增产 11.25%~36.67%,其中,IP(施中量磷肥)处理产量最高,达到了 3.28 kg·株<sup>-1</sup>,较 FP(不施磷肥)处理显著增产 17.56%。IP 处理坐果最多,但与其它处理相比差异不显著。除 HP(施高量磷肥)处理外,施磷处理显著增加了甜瓜的平均单果质量,并且不同磷肥处理之间差异显著。综合分析,适量施用磷肥能增加甜瓜产量,但过高或过低用量磷肥均不利于甜瓜的生长,这与前人在不同作物上的试验结果相符<sup>[9-11]</sup>。

表 1 不同磷肥用量下甜瓜产量及产量构成因素

Table 1 Effect of phosphorus application rates on muskmelon yield and yield components

处理 Treatment	坐果数 Number /株	单果质量 Per melon weight/kg	产量 Yield /(kg·株 <sup>-1</sup> )	较 CK 增产 Average increment vs. CK/±%	较 FP 增产 Average increment vs. FP/±%
CK	5.00a	0.48d	2.40c	—	-13.98
FP	5.33a	0.52c	2.79bc	16.25	—
LP	5.33a	0.56b	2.97ab	23.75	6.45
IP	5.67a	0.58a	3.28a	36.67	17.56
HP	5.00a	0.53c	2.67bc	11.25	-4.30

注:在同列中不同字母表示不同处理之间差异显著(P<0.05),下同。

Note: Different letters in the same column indicate significant difference at 5% level, the same below.

### 2.2 不同施磷量对甜瓜坐果期叶片 SPAD 值的影响

植物叶片叶绿素含量与 SPAD 值有较好的相关关系<sup>[12]</sup>,而叶绿素含量是反映叶片光合能力的指标之一。从图 1 可以看出,施磷肥处理的 SPAD 值显著高于不施磷肥处理,说明施磷能显著提高叶片 SPAD 值,各施磷处理随着施磷量的增加呈先增加后降低的趋势,但是各施磷处理之间差异不显著。FP 处理的 SPAD 值显著高于 CK 处理,说明不施氮钾肥会显著降低甜瓜叶片的叶绿素含量,进而使其光合性能下降,这与前人在甜瓜上进行的氮肥<sup>[3]</sup>和钾肥<sup>[13]</sup>试验研究结果相符。

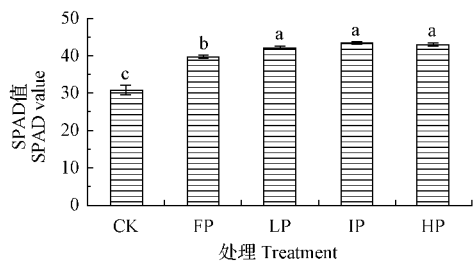


图1 不同磷肥用量对甜瓜坐果期叶片 SPAD 值的影响  
Fig.1 Effect of phosphorus application rates on chlorophyll of muskmelon leaves at the fruit-set period

2.3 不同施磷量对甜瓜坐果期叶片叶绿素荧光特性的影响

叶绿素荧光指标反映了叶片光合作用过程中光系统对光能的吸收、传递、耗散、分配等<sup>[14]</sup>。由表 2 可知,各项叶绿素荧光指标随着施磷量的增加呈先增加后降低的趋势。IP 处理的  $\Phi\text{PSII}$ 量子产额、 $\Phi\text{PSII}$ 最大光化学效率、 $\Phi\text{PSII}$ 潜在活性、光化学猝灭系数较 FP 处理分别增加了 12.45%、0.71%、9.32%、27.88%,且  $\Phi\text{PSII}$ 量子产额值差异显著。 $\Phi\text{PSII}$ 最大光化学效率和  $\Phi\text{PSII}$ 潜在活性值大说明 PSII反应中心的能量捕捉效率高,电子传递速率(ETR)和  $\Phi\text{PSII}$ 量子产额高说明光能转化效率高,为暗反应的碳同化积累更多的能量<sup>[15]</sup>。各处理较 CK 显著增加了  $\Phi\text{PSII}$ 最大光化学效率,而荧光参数  $\Phi\text{PSII}$ 最大光化学效率能反映 PSII原初光能转化效率,是

表 2 不同磷肥用量对甜瓜坐果期叶片  
叶绿素荧光特性的影响

Table 2 Effect of phosphorus application rates on chlorophyll fluorescence parameters of muskmelon leaves at the fruit-set period				
处理 Treatment	PSII量子产额 $\Phi\text{PSII}$	PSII最大光化学效率 $F_v/F_m$	PSII潜在活性 $F_o/F_o$	光化学猝灭系数 $qP$
CK	0.602c	0.811b	4.539a	0.817a
FP	0.619bc	0.844a	4.976a	0.825a
LP	0.620bc	0.846a	5.001a	0.826a
IP	0.696a	0.850a	5.440a	0.848a
HP	0.645b	0.848a	5.393a	0.818a

反映光抑制程度的良好指标和探针<sup>[16]</sup>, $\Phi\text{PSII}$ 潜在活性和光化学猝灭系数差异不显著。因此,适量的磷肥供应能增加叶片的叶绿素荧光参数,从而提高叶片的光合性能。

2.4 不同施磷量对甜瓜坐果期叶片光合特性的影响

在植物生长期,当磷供给量处于较低水平并成为限制因素时,会严重影响叶片的光合作用<sup>[17]</sup>。从表 3 可以看出,不同处理对甜瓜叶片各项光合特性指标影响显著,施磷能显著提高叶片的光合速率、气孔导度和蒸腾速率,降低了胞间  $\text{CO}_2$  浓度。其中,IP 处理的光合速率、气孔导度和蒸腾速率较 FP 处理分别显著增加了 12.05%、19.05%和 17.59%,胞间  $\text{CO}_2$  浓度显著地降低了  $6.00\ \mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$ 。叶片蒸腾速率和气孔导度增大,改善了叶肉细胞的光合能力,胞间  $\text{CO}_2$  浓度的降低则是因为光合作用强需要消耗更多的  $\text{CO}_2$ ,从而提升了叶片的光合速率。

表 3 不同磷肥用量对甜瓜坐果期叶片光合特性的影响

Table 3 Effect of phosphorus application rates on photosynthesis indicator of muskmelon leaves at the fruit-set period				
处理 Treatment	光合速率 Photosynthetic rate/ $(\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1})$	气孔导度 Stomatal conductance/ $(\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1})$	胞间 $\text{CO}_2$ 浓度 Interacellular $\text{CO}_2$ concentration/ $(\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1})$	蒸腾速率 Transpiration rate/ $(\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1})$
CK	5.96d	0.23c	149.33a	7.84c
FP	11.04bc	0.42b	140.67b	11.71b
LP	12.17ab	0.42b	140.00b	13.47a
IP	12.37a	0.50a	134.67c	13.77a
HP	10.62c	0.45ab	136.67bc	12.31b

2.5 不同施磷量对甜瓜成熟期土壤有效磷含量的影响

施用磷肥能使土壤中有效磷含量迅速累积<sup>[18]</sup>。由图 2 可知,过磷酸钙施入土壤后快速释放,导致土壤中有效磷含量升高,施磷肥处理显著高于不施磷肥处理。HP 处理土壤有效磷含量最高,达到了  $29.82\ \text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,比 LP 处理增加了 17.68%,但较 IP 处理差异不显著。这表明,适量施用磷肥能增加土壤有效磷含量,满足甜瓜对磷素的需求,还不会造成磷素的浪费。

3 结论与讨论

土壤有效磷是作物磷的直接来源,是设置施肥的基础条件,在盆栽甜瓜中施入充足的磷肥,使土壤有效磷含量达到较高的水平,保证植株对磷素的需求,从而能够改善甜瓜叶片的光合性能,表现在其光合特性各项指

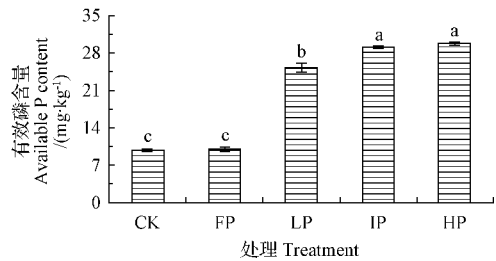


图 2 不同磷肥用量对甜成熟期瓜土壤有效磷含量的影响  
Fig.2 Effect of phosphorus application rates on available P content in soil at the maturity period

标较优,而施磷量( $\text{P}_2\text{O}_5$ : $32\ \text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 土)处理显著增加了叶片的 SPAD 值和叶片荧光指标  $\Phi\text{PSII}$ 量子产额、 $\Phi\text{PSII}$ 最大光化学效率、 $\Phi\text{PSII}$ 潜在活性,提高了光合速率、

气孔导度和蒸腾速率,降低了胞间  $\text{CO}_2$  浓度,进而提升了叶片的光合能力,而产量的形成取决于其叶片的光能利用效率。因此,施磷肥处理显著提高了甜瓜产量,增加坐果数和平均单果质量。其中,施磷量( $\text{P}_2\text{O}_5$ : $32 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  土)处理产量最高,达到了  $3.28 \text{ kg} \cdot \text{株}^{-1}$ ,其土壤有效磷含量也达到了较高的水平,并与施磷量( $\text{P}_2\text{O}_5$ : $48 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  土)处理相比差异不显著,在避免浪费的同时为甜瓜生长发育提供了充足的磷素。充足的磷肥供应,提高了植株能够直接吸收的土壤有效磷含量,使植株的光合性能得到提升,从而保证了甜瓜的高产。

综合分析,合理施用磷肥不仅增加了甜瓜产量,还提升了叶片的光合作用能力及土壤有效磷含量,有利于甜瓜的高产,获得较高的经济价值。该试验条件下,推荐  $\text{P}_2\text{O}_5$   $32 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  土的施磷量,以期为甜瓜合理施用磷肥和高效生产提供理论依据。

### 参考文献

- [1] 林德佩. 中国栽培甜瓜植物的起源、分类及进化[J]. 中国瓜菜, 2010, 23(4): 34-36.
- [2] 陈年来, 李庭红, 王刚, 等. 甜瓜光合特性研究[单叶面积动态与光合性能[J]. 兰州大学学报(自然科学版), 2001, 37(2): 106-110.
- [3] 王琪, 徐程扬. 氮磷对植物光合作用及碳分配的影响[J]. 山东林业科技, 2005(5): 59-62.
- [4] 陆景陵. 植物营养学(上册)[M]. 第2版. 北京: 中国农业大学出版社, 2003.
- [5] 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.
- [6] 黄庆, 孙映波, 谢汝升, 等. 不同氮素水平对厚皮甜瓜品质和产量的影响[J]. 广州农业科学, 2000(3): 15-17.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] 李银水, 鲁剑巍, 廖星, 等. 磷肥用量对油菜产量及磷素利用效率的影响[J]. 中国油料作物学报, 2011, 33(1): 52-56.
- [10] 李志坚, 李治安, 赵秉强, 等. 增效磷肥对冬小麦产量和磷素利用率的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2013, 19(6): 1329-1336.
- [11] 卜容燕, 任涛鲁, 剑巍, 等. 水稻-油菜轮作条件下磷肥效应研究[J]. 中国农业科学, 2014, 47(6): 1227-1234.
- [12] 艾天成, 李方敏, 周治安, 等. 作物叶片叶绿素含量与 SPAD 值相关性研究[J]. 湖北农学院学报, 2000, 20(1): 6-8.
- [13] 黄伟, 张晓光. 钾素对薄皮甜瓜光合作用和产量的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2009(2): 23-26.
- [14] 张守仁. 叶绿素荧光动力学参数的意义及讨论[J]. 植物学通报, 1999, 16(4): 444-448.
- [15] 许大全. 光合作用效率[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2002.
- [16] 赵丽英, 邓西平, 山仑. 不同水分处理下冬小麦旗叶叶绿素荧光参数的变化研究[J]. 中国生态农业学报, 2007, 15(1): 63-66.
- [17] MOLLIER A, PELLERIN S. Maize root system growth and development as influenced by phosphorous deficiency[J]. J Experim Bot, 1999, 50: 487-497.
- [18] 刘建玲, 李仁岗, 廖文华, 等. 白菜-辣椒轮作中磷肥的产量效应及土壤磷积累研究[J]. 中国农业科学, 2005, 38(8): 1616-1620.

## Effect of Different Phosphorous Fertilizers Dosage on Yield and Photosynthetic Characteristics of Potted Muskmelon

YANG Xiuyi, GENG Jibiao, QI Xingchao, WANG Xiaoqi, ZHANG Min, LI Chengliang

(College of Resource and Environment/Shandong Agricultural University, National Engineering Laboratory for Efficient Utilization of Soil and Fertilizer, Tai'an, Shandong 271018)

**Abstract:** Taking muskmelon as test material, effects of phosphorous fertilizer application rates on physiological characteristics, yield and soil available phosphorous content of muskmelon were systematically investigated with a potted experiment, combined with normal determination. The results showed that, under the same application of nitrogen ( $62 \text{ mg N} \cdot \text{kg}^{-1}$  soil) and potassium fertilization ( $67 \text{ mg K}_2\text{O} \cdot \text{kg}^{-1}$  soil), the application of phosphorous fertilization ( $32 \text{ mg P}_2\text{O}_5 \cdot \text{kg}^{-1}$  soil) treatment significantly improved the yield of muskmelon, which reached  $3.28 \text{ kg} \cdot \text{plant}^{-1}$ . The muskmelon yield in application of phosphorous fertilization ( $32 \text{ mg P}_2\text{O}_5 \cdot \text{kg}^{-1}$  soil) treatment was 17.56% higher than no application of phosphorous fertilization ( $0 \text{ mg P}_2\text{O}_5 \cdot \text{kg}^{-1}$  soil) treatment, and the number of muskmelon and single fruit weight also increased by the application of P fertilizer. Meanwhile, the application of phosphorous fertilization ( $32 \text{ mg P}_2\text{O}_5 \cdot \text{kg}^{-1}$  soil) treatment significantly increased the chlorophyll content, fluorescence and photosynthetic indicator, improved the leaf photosynthetic capacity and also increased soil available P content. In sum, the application rate ( $32 \text{ mg P}_2\text{O}_5 \cdot \text{kg}^{-1}$  soil) of phosphorous fertilizers was recommended to warrant high muskmelon yield and to maintain the proper fertilizer input.

**Keywords:** phosphorous fertilizers; muskmelon; yield; leaf photosynthetic capacity; soil available phosphorous