

缺磷胁迫下不同长豇豆品种幼苗的解剖结构

刘厚诚¹, 陈国菊¹, 陈日远¹, 邝炎华², 吴筱颖¹

(1. 华南农业大学园艺学院, 广东 广州 510642; 2. 华南农业大学生命科学学院, 广东 广州 510642)

摘要: 研究了不同长豇豆 [*Vigna unguiculata* W. ssp. *sesquipedalis* (L.) Verd] 品种幼苗在缺磷胁迫下的形态结构变化。结果表明: 缺磷胁迫下, 耐缺磷品种‘芦花白’的叶片和海绵组织厚度增幅较大, 栅栏组织厚度与海绵组织厚度的比值减小, 气孔密度增幅较小; 茎和茎导管直径增大, 且比不耐缺磷的品种‘二芦白’大; 根直径变小, 根量增加, 这使其在缺磷胁迫下能保持较强的养分和水分吸收、输导能力和光合能力。缺磷胁迫下, 长豇豆叶表皮气孔密度增大, 气孔蒸腾加强, 促进了水分和磷从根部向上运转及磷的被动吸收。不耐缺磷品种‘二芦白’的气孔密度增加幅度较大, 促进磷吸收运转的强度较大, 为避免过多失水, 栅栏组织厚度及栅栏组织与海绵组织厚度的比值增加较大, 减弱了非气孔蒸腾的强度。

关键词: 缺磷胁迫; 长豇豆; 解剖结构

中图分类号: Q945.1 文献标识码: A 文章编号: 1004-0978(2004)01-0048-05

Anatomical structures of seedlings of *Vigna unguiculata* ssp. *sesquipedalis* cultivars under phosphorus-deficiency stress LIU Hou-cheng¹, CHEN Guo-ju¹, CHEN Ri-yuan¹, KUANG Yan-hua², WU Xiao-ying¹
(1. College of Horticulture, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China; 2. College of Life Science, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China), *J. Plant Resour. & Environ.* 2004, 13(1): 48-52

Abstract: Changes of seedling anatomical structures of asparagus bean [*Vigna unguiculata* W. ssp. *sesquipedalis* (L.) Verd] cultivars under phosphorus-deficiency stress were studied. Under P-deficiency stress, thickness of leaf and spongy tissue of ‘Luhuabai’ (High P-deficiency-tolerance) plants increased more than that of ‘Erlubai’ (Low P-deficiency-tolerance), densities of stomata increased less than ‘Erlubai’, the ratio of thickness of palisade tissue and thickness of spongy tissue (P/S) decreased, diameter of stem and vessel increased and were larger than ‘Erlubai’, root diameter decreased but root number increased. Thus there were stronger capability of absorption and translocation of nutrient, water and photosynthesis in ‘Luhuabai’, then enhanced the tolerance to P-deficiency stress. Under P-deficiency stress, the increase of stoma densities enhanced transpiration, then enhanced translocation of water and phosphorus from root to shoot and passive absorption of phosphorus, that of ‘Erlubai’ increased more, however, to avoid too much water-loss, thickness of palisade tissue and P/S increased more, thus non-stomata evaporation decreased.

Key words: phosphorus-deficiency stress; *Vigna unguiculata* W. ssp. *sesquipedalis* (L.) Verd; anatomical structure

植物营养是植物生命活动的重要物质基础, 营养供应的变化将影响到植株的解剖结构。营养胁迫或营养对植株形态结构的影响在部分植物上有研究, 近年缺磷胁迫生理研究较多, 但磷素营养对植物形态结构的影响研究较少。磷素供应不足时, 菜豆叶的叶片厚度、栅栏组织和海绵组织厚度增加, 单位面积栅栏组织细胞数增加或减少^[1]。本研究比较了不同长豇豆品种幼苗在缺磷胁迫下解剖结构的变化, 探讨长豇豆植株解剖结构变化与适应缺磷胁迫的关系, 为揭示其适应缺磷胁迫机制提供参考。

1 材料与方 法

选用耐缺磷程度不同的长豇豆 [*Vigna unguiculata* W. ssp. *sesquipedalis* (L.) Verd] 品种^[2]: ‘芦花白’ (‘Luhuabai’, 耐缺磷)、‘香港青’

收稿日期: 2003-06-18

作者简介: 刘厚诚(1968-), 男, 湖南涟源人, 副教授, 博士, 主要从事蔬菜栽培和栽培生理研究。

(‘Xiānggāngqīng’, 中间类型)、“二芦白”(‘Erlubai’, 不耐缺磷)。材料培养方法同文献[2]:选取大小基本一致的种子播种在清洁沙床中,用自来水保持沙床湿润。播种后7 d,当第1对真叶充分展开时,取生长一致的植株,去掉子叶,洗净根系后移植到水培箱中(容积20 L),植株用泡沫塑料块固定在定植杯中,每箱20株。采用Hoagland配方,作加磷(+P)和缺磷(-P)2个磷水平处理,缺磷处理用 K_2SO_4 补充钾的不足。营养液每隔7 d更换1次,用气泵断续通气(每隔30 min通气10 min)。

实验于2000年秋季进行,材料培养15 d后取样,取第5节带有叶中脉的成熟叶片,用刀片切成 $5\text{mm} \times 4\text{mm}$ 大小的叶片,相同部位茎段和成熟根段切成长约5 mm的小段,FAA固定液固定,系列乙醇脱水,二甲苯透明,石蜡包埋,切片厚度为 $8\ \mu\text{m}$,用70%乙醇配成的苯胺酚红和95%乙醇配成苯胺固

绿进行染色,中性树胶封片,进行显微观察和摄影。

撕取叶表皮,观察叶片表皮细胞,统计气孔密度。每个数据测定10次。

2 结果与分析

2.1 缺磷胁迫下长豇豆幼苗叶表皮解剖结构变化

缺磷胁迫下,长豇豆3个品种幼苗的叶表皮细胞数目增多,细胞排列紧密(见图版I:1-6),叶表皮气孔密度增大(见表1)。不耐缺磷的‘二芦白’叶表皮气孔密度增加52.03%,中间类型的‘香港青’增加43.03%,而耐缺磷的‘芦花白’增加40.25%。可见缺磷胁迫下,不耐缺磷的品种气孔密度增加幅度比耐缺磷的品种大,而且不论缺磷与否,‘二芦白’叶表皮气孔密度均较‘芦花白’和‘香港青’大。

表1 缺磷胁迫下长豇豆不同品种幼苗叶片解剖结构比较¹⁾

Table 1 Comparison of leaf anatomical structure of *Vigna unguiculata* W. ssp. *sesquipedalis* (L.) Verd cultivar seedlings under phosphorus-deficiency stress¹⁾

品种 Cultivar	处理 Treatment	叶片厚度/mm Thickness of leaf	栅栏组织厚度/mm Thickness of palisade tissue	海绵组织厚度/mm Thickness of spongy tissue	气孔密度/ $\times 10^2$ 个 $\cdot\text{mm}^{-2}$ Density of stomata
芦花白 Luhuabai	+P	0.189 ± 0.017	0.061 ± 0.012	0.089 ± 0.011	2.41 ± 0.20
	-P	$0.279 \pm 0.010^{**}$	$0.076 \pm 0.004^{**}$	$0.148 \pm 0.007^{**}$	$3.38 \pm 0.14^{**}$
香港青 Xianggangqing	+P	0.146 ± 0.007	0.054 ± 0.004	0.064 ± 0.005	2.44 ± 0.26
	-P	$0.199 \pm 0.011^{**}$	$0.071 \pm 0.006^{**}$	$0.099 \pm 0.008^{**}$	$3.49 \pm 0.22^{**}$
二芦白 Erlubai	+P	0.172 ± 0.025	0.049 ± 0.008	0.076 ± 0.012	2.96 ± 0.22
	-P	$0.225 \pm 0.010^{**}$	$0.082 \pm 0.004^{**}$	0.098 ± 0.004	$4.50 \pm 0.37^{**}$

¹⁾ +P: 加磷处理 phosphorus treatment $1\ \text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$; -P: 缺磷处理 phosphorus-deficiency treatment $0\ \text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ ** : LSD 检验表明差异显著 ($P=0.01$) significant difference at $P=0.01$ by LSD, $X \pm SE$, $n=10$

2.2 缺磷胁迫下长豇豆幼苗叶片解剖结构变化

缺磷胁迫下,长豇豆叶片厚度、栅栏组织和海绵组织增厚(见图版I:1-6和表1),‘二芦白’的叶片、栅栏组织和海绵组织分别增厚30.81%、67.35%和28.95%;‘香港青’分别增厚36.30%、29.83%和54.69%;而‘芦花白’分别增厚47.62%、24.59%和66.29%。缺磷胁迫下‘芦花白’和‘香港青’叶片栅栏组织厚度与海绵组织厚度的比值(栅栏/海绵比)分别减少了26.09%和15.48%,而‘二芦白’则增加32.81%。在供磷情况下,‘芦花白’和‘二芦白’的栅栏/海绵比值较接近,‘香港青’较高;缺磷胁迫下‘二芦白’的栅栏/海绵比值较‘芦花白’和‘香港青’分别约高2/3和1/5。

可见,缺磷胁迫下,不耐缺磷的‘二芦白’、中间

类型的‘香港青’和耐缺磷的‘芦花白’,栅栏组织增幅依次减小,海绵组织和叶片厚度增幅则依次增大。不论缺磷与否,‘芦花白’的叶片和海绵组织都比‘香港青’和‘二芦白’厚,‘芦花白’和‘香港青’的栅栏/海绵比值降低,而‘二芦白’增高,且均比‘芦花白’和‘香港青’高。

2.3 缺磷胁迫下长豇豆幼苗茎解剖结构变化

缺磷胁迫下长豇豆各品种幼苗茎直径都有变化(见图版I:7-12和表2),‘芦花白’和‘二芦白’茎直径增大8.94%和3.57%,而‘香港青’却减少5.73%。缺磷胁迫下,‘芦花白’木质部和韧皮部分别增大11.23%和28.00%;‘香港青’分别增大34.43%和30.28%;‘二芦白’木质部增大24.69%,韧皮部则增大82.35%;‘芦花白’和‘二芦白’茎髓增

大3.21%和11.59%，而‘香港青’则减少17.97%；‘芦花白’茎导管直径增大30.11%（表2），‘香港青’增大24.43%，‘二芦白’则增大55.66%。

可见，缺磷胁迫下，耐缺磷的‘芦花白’茎直径增加幅度比‘二芦白’大，‘香港青’则略有减少；髓直径增大幅度则‘二芦白’大于‘芦花白’，‘香港青’减少；导管直径增幅从大至小依次为‘二芦白’、‘芦花白’和‘香港青’。但不论缺磷与否，‘芦花白’幼苗茎、髓和导管直径都最大，‘二芦白’最小。不耐缺磷的‘二芦白’茎木质部和韧皮部增幅较大，‘香港青’其次，‘芦花白’最小，但不论缺磷与否，‘芦花白’和‘香港青’的木质部和韧皮部都较‘二芦白’厚。

2.4 缺磷胁迫下长豇豆幼苗根解剖结构变化

缺磷胁迫下长豇豆幼苗根解剖结构均有变化

（见表3），耐缺磷的‘芦花白’根直径减少13.79%，‘香港青’增大4.37%，而不耐缺磷的‘二芦白’则增大6.91%；‘芦花白’和‘二芦白’根髓直径分别减少10.53%和1.24%，而‘香港青’则增大5.33%。缺磷胁迫下‘芦花白’、‘香港青’和‘二芦白’的根导管直径分别增大13.54%、11.33%和13.38%。

可见，缺磷胁迫下，不耐缺磷的‘芦花白’根直径减少，而‘二芦白’和‘香港青’则增大，且‘二芦白’增幅稍大；‘芦花白’和‘二芦白’髓直径减少，‘香港青’增大；3个品种的导管直径都增大，且增幅接近。不论缺磷与否，‘香港青’的根和导管直径都最大，‘二芦白’其次，‘芦花白’最小（+P处理的根直径除外）。

表2 缺磷胁迫下长豇豆不同品种幼苗茎解剖结构的比较¹⁾

Table 2 Comparison of stem anatomical structure of *Vigna unguiculata* W. ssp. *sesquipedalis* (L.) Verd cultivar seedlings under phosphorus-deficiency stress¹⁾

品种 Cultivars	处理 Treatment	茎直径/mm Diameter of stem	髓直径/mm Diameter of pith	导管直径/ μm Diameter of vascular	木质部直径/mm Diameter of xylem	韧皮部厚度/mm Thickness of phloem
芦花白 Luhuabai	+P	2.225 ± 0.047	1.653 ± 0.049	24.18 ± 2.25	1.166 ± 0.058	0.225 ± 0.016
	-P	2.424 ± 0.054**	1.706 ± 0.064*	31.46 ± 2.52**	1.297 ± 0.042	0.288 ± 0.008
香港青 Xianggangqing	+P	1.991 ± 0.1113	1.380 ± 0.098	22.88 ± 3.44	1.946 ± 0.090	0.251 ± 0.050
	-P	1.877 ± 0.032**	1.132 ± 0.048**	28.47 ± 1.97**	2.616 ± 0.101**	0.327 ± 0.040
二芦白 Erlubai	+P	1.427 ± 0.056	0.897 ± 0.074	13.78 ± 1.91	0.806 ± 0.083	0.136 ± 0.025
	-P	1.478 ± 0.039**	1.001 ± 0.041**	21.45 ± 4.61**	1.005 ± 0.124	0.248 ± 0.008**

¹⁾ +P: 加磷处理 phosphorus treatment 1 mmol·L⁻¹; -P: 缺磷处理 phosphorus-deficiency treatment 0 mmol·L⁻¹ *; LSD 检验表明差异显著 (P = 0.05) significant difference at P = 0.05 by LSD; **; LSD 检验表明差异显著 (P = 0.01) significant difference at P = 0.01 by LSD, X ± SE, n = 10

表3 缺磷胁迫下长豇豆不同品种幼苗根解剖结构比较¹⁾

Table 3 Comparison of root anatomical structure of *Vigna unguiculata* W. ssp. *sesquipedalis* (L.) Verd cultivar seedlings under phosphorus-deficiency stress¹⁾

品种 Cultivar	处理 Treatment	根直径/mm Diameter of root	髓直径/mm Diameter of pith	导管直径/ μm Diameter of vascular
芦花白 Luhuabai	+P	0.457 ± 0.011	0.171 ± 0.006	16.17 ± 1.11
	-P	0.394 ± 0.011**	0.153 ± 0.001**	18.36 ± 2.44**
香港青 Xianggangqing	+P	0.481 ± 0.022	0.169 ± 0.012	17.91 ± 1.76
	-P	0.502 ± 0.018**	0.178 ± 0.012	19.94 ± 1.54**
二芦白 Erlubai	+P	0.391 ± 0.024	0.161 ± 0.022	17.34 ± 1.26
	-P	0.418 ± 0.015**	0.159 ± 0.018	19.66 ± 1.33**

¹⁾ +P: 加磷处理 phosphorus treatment 1 mmol·L⁻¹; -P: 缺磷处理 phosphorus-deficiency treatment 0 mmol·L⁻¹ **: LSD 检验表明差异显著 (P = 0.01) significant difference at P = 0.01 by LSD, X ± SE, n = 10

3 讨 论

缺磷胁迫下，长豇豆幼苗叶片、栅栏组织、海绵组织增厚，这与利用菜豆 (*Phaseolus vulgaris* Linn.) 所

做的试验结果^[1]一致。不耐缺磷的‘二芦白’，栅栏组织增厚幅度更大，栅栏组织厚度与海绵组织厚度比值(栅栏/海绵比)增大；耐缺磷的‘芦花白’海绵组织和叶片增厚幅度较大，栅栏/海绵比减少。

缺磷胁迫下，不耐缺磷的品种‘二芦白’气孔密

度增加较大,栅栏组织比耐缺磷的品种‘芦花白’厚,栅栏/海绵比较‘芦花白’和‘香港青’高。这与文献报道的小麦磷高效基因型保水能力强的结果不完全一致^[3]。缺磷胁迫下,长豇豆叶表皮气孔密度增大,表明叶片气孔蒸腾加强,促进了水分和磷向地上部的运转以及磷的被动吸收,可能是长豇豆适应缺磷胁迫的1种形态变化。不耐缺磷的品种气孔密度增加较大,加强蒸腾促进磷吸收运转的强度可能较大,但为了避免过多失水,栅栏组织厚度和栅栏/海绵比增加较大,减弱了非气孔蒸腾的强度。

缺磷胁迫下,耐缺磷的品种‘芦花白’茎直径增幅较大,而髓直径和导管直径则以不耐缺磷品种‘二芦白’增幅最大,木质部和韧皮部范围也以‘二芦白’增幅较大。茎和导管直径、木质部和韧皮部范围的增大,使茎输导能力增强,增强植株水分和养分的供应,可能是缺磷胁迫下的适应性反应之一。不论缺磷与否,‘芦花白’的茎、髓和导管直径、木质部和韧皮部范围都比‘二芦白’大,表明不耐缺磷的品种茎木质部和韧皮部虽然增幅较大,但仍比耐缺磷的品种小,即茎输导能力仍较弱,这与耐低磷能力强的小麦品种水分利用效率较高的结果相一致^[3]。

缺磷胁迫下,耐缺磷的品种‘芦花白’根直径减小,而‘二芦白’和‘香港青’则增大;髓直径‘芦花白’和‘二芦白’减小,‘香港青’增大;3个品种的导管直径都增大。不论缺磷与否,‘香港青’的根和导管直径都最大,‘二芦白’其次。缺磷胁迫下长豇豆幼苗根系SOD和POD活性升高^[4],SOD清除 O_2^- ,产物是 H_2O_2 ,因此SOD活性升高使 H_2O_2 积累,同时POD活性升高,促进了缺磷胁迫下长豇豆根的木质化和导管的分化。磷在土壤中主要借助扩散方式迁移到根表,亏缺区通常只有几毫米。具有纤细根且多分枝、根毛健全的植物,由于与土壤有更大的接触表面积,对土壤磷的吸收有更大潜力^[5]。缺磷使大豆

[*Glycine max* (Linn.) Merr.]土壤表层的根长和根密度增加^[6],较大的根系有利于磷的吸收,防止了叶片磷含量和地上部生长大幅度下降^[7]。缺磷胁迫下,耐缺磷的‘芦花白’根系鲜重和干重都比不耐缺磷的‘二芦白’大^[8],因此根系增重,而根变细,使根系数量和吸收面积增大,可能是耐缺磷的长豇豆品种‘芦花白’对缺磷适应性较强的原因之一。

因此,缺磷胁迫下,耐缺磷的长豇豆品种叶片和海绵组织厚度增幅较大,栅栏组织厚度/海绵组织厚度比值减少,气孔密度增幅较小;茎直径和导管直径增大;根直径变小,根量增加。这使其在缺磷胁迫下能保持较强的养分和水分吸收、输导能力和较强的光合能力和保水能力,从而对缺磷胁迫有较强的适应力。

参考文献:

- [1] 王勇荣,严小龙,卢仁骏. 磷素营养对菜豆叶片解剖结构的影响[J]. 华南农业大学学报, 1999, 20(1): 57-62.
- [2] 刘厚诚,邝炎华. 不同长豇豆品种幼苗缺磷胁迫下的生长反应研究[A]. 中国农学会. 中国青年农业科学学术年报(1999)[C]. 北京:中国农业出版社, 1999. 913-917.
- [3] 刘国栋,李继云,李振声. 低磷胁迫下小麦地上部某些性状的基因型差异[J]. 土壤学报, 1998, 35(2): 235-241.
- [4] 刘厚诚,邝炎华,陈日远. 缺磷胁迫下长豇豆幼苗膜脂过氧化及保护酶活性变化[J]. 园艺学报, 2003, 30(2): 215-217.
- [5] 张福锁,林翠兰,曹一平. 植物磷营养基因型差异的机理[A]. 张福锁. 土壤与植物营养研究新动态(第一卷)[M]. 北京:北京农业大学出版社, 1992. 23-30.
- [6] Flavio G H, Grant T W. Phosphorus nutrition and water deficits in field-grown soybeans[J]. Plant & Soil. 1998-1999, 207(1): 87-96.
- [7] Passarinho J A, Rodrigues M L, Osorio M L, et al. Physiological responses of *Lupinus mutabilis* to phosphorus nutrition and season of growth[J]. J Plant Nutrition, 2000, 23(4): 487-505.
- [8] 刘厚诚,邝炎华,陈日远,等. 缺磷胁迫下长豇豆不同品种幼苗生长研究[J]. 华南农业大学学报, 1999, 20(增刊): 6-11.

图版说明 Explanation of plates

图版 I 1-3: 分别为加磷($1\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$)处理的‘二芦白’、‘芦花白’、‘香港青’叶片横切面结构($\times 132$); 4-6: 分别为缺磷胁迫下‘二芦白’、‘芦花白’、‘香港青’叶片横切面结构($\times 132$); 7-9: 分别为加磷($1\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$)处理的‘二芦白’、‘芦花白’、‘香港青’茎横切面结构($\times 66$); 10-12: 分别为缺磷胁迫下‘二芦白’、‘芦花白’、‘香港青’茎横切面结构($\times 66$)

Plate I 1-3: Leaf structure of ‘Erlubai’, ‘Luhubai’ and ‘Xianggangqing’ under phosphorus treatment ($1\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$) respectively ($\times 132$); 4-6: Leaf structure of ‘Erlubai’, ‘Luhubai’ and ‘Xianggangqing’ under phosphorus-deficiency stress respectively ($\times 132$); 7-9: Structure of stem transverse section of ‘Erlubai’, ‘Luhubai’ and ‘Xianggangqing’ under phosphorus treatment ($1\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$) respectively ($\times 66$); 10-12: Structure of stem transverse section of ‘Erlubai’, ‘Luhubai’ and ‘Xianggangqing’ under phosphorus-deficiency stress respectively ($\times 66$)

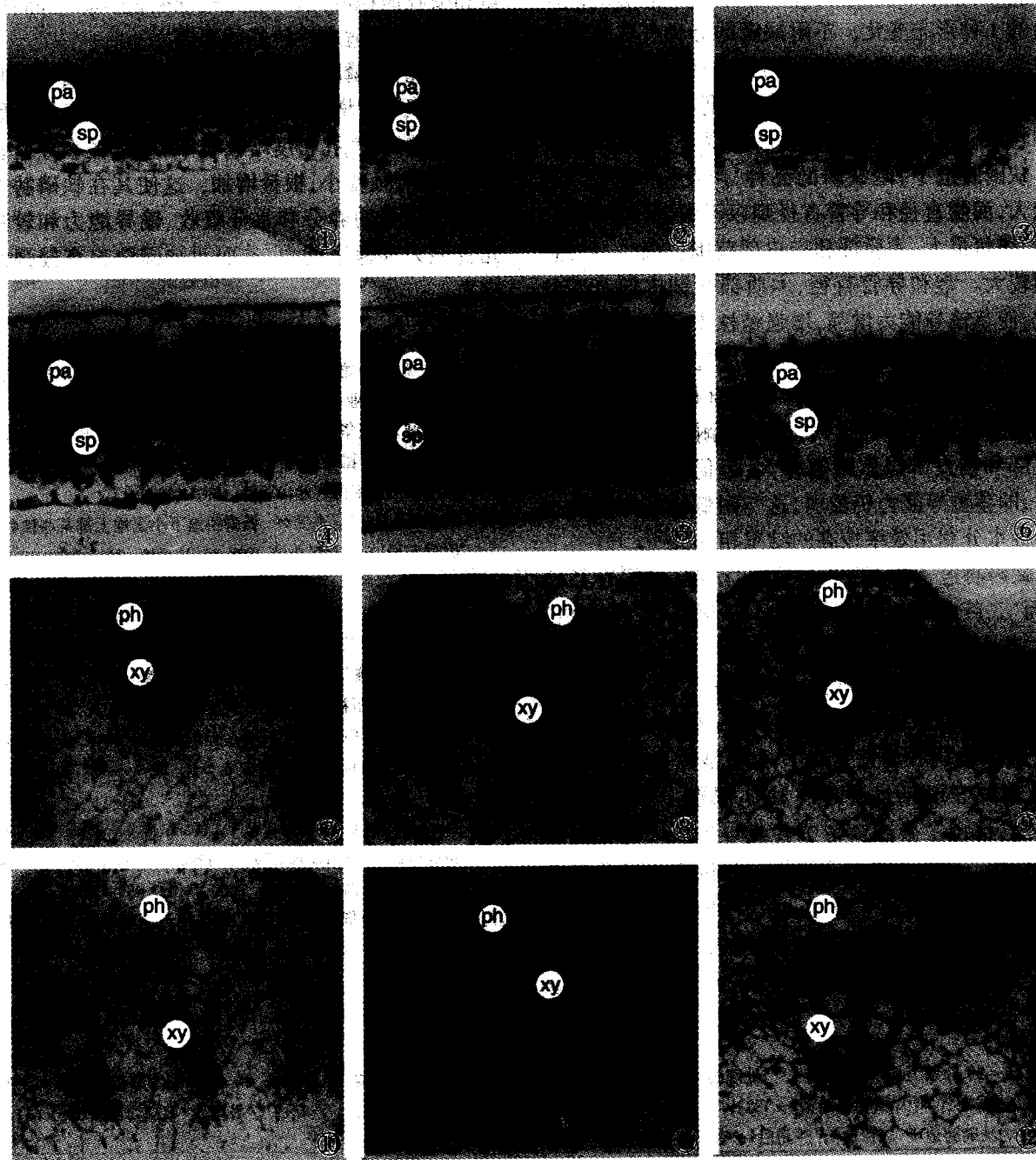
pa: 栅栏组织 palisade tissue; sp: 海绵组织 spongy tissue; xy: 木质部 xylem; ph: 韧皮部 phloem

刘厚诚等: 缺磷胁迫下不同长豇豆品种幼苗的解剖结构

图版 I

LIU Hou-cheng *et al*: Anatomical structures of seedlings of *Vigna unguiculata* ssp. *sesquipedalis* cultivars under phosphorus-deficiency stress

Plate I



See the explanation of the end of text