

磷营养对天竺葵与彩叶草生长发育的影响

张佳音¹, 王静怡¹, 樊金萍^{1*}, Hye-Ji Kim^{2*}

(1. 东北农业大学, 黑龙江 哈尔滨 150030; 2. Purdue University, Department of Horticulture and Landscape Architecture 625 Agriculture Mall Drive, West Lafayette 47907-2010)

摘要: 为确定天竺葵 (*Bullseye Scarlet*) 和彩叶草 (*Chocolate Scarlet*) 在温室生产中所需磷的最佳浓度, 本试验通过调整霍格兰营养液中 KH_2PO_4 的浓度梯度 (0、3、5、10、15、20 和 $30 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$) 使磷元素浓度发生变化, 并用其滴灌植物, 进而探究磷营养对天竺葵与彩叶草生长发育的影响。结果表明, 天竺葵和彩叶草在植物营养生长和生殖生长过程中, 植物的生长参数以对数函数速率而增加; 天竺葵和彩叶草的茎叶部分在营养生长期对磷的需求量大于生殖生长期; 在不同的生长时期, 磷元素对彩叶草生长的影响始终大于对天竺葵生长的影响; 在营养生长期, 天竺葵生长的最适磷浓度为 $20 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 在生殖生长阶段, 其生长最适磷浓度为 $15 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$; 在营养生长期, 彩叶草生长的最适磷浓度为 $15 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 在生殖生长阶段, 其生长最适磷浓度为 $10 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

关键词: 磷浓度; 生长参数; 磷利用率

磷是一种重要的营养物质, 缺乏磷的植物生长发育会受到影响, 呈现一种不健康的深绿色。磷元素可刺激植物长出新芽, 会加速其成熟, 对于植物的开花也至关重要^[1]。植物吸收磷的主要形式是 HPO_4^{2-} 和 H_2PO_4^- , 由于它们在土壤溶液中的浓度很低, 一般只有 $1.5 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ^[2], 远不能满足植物正常生长的要求, 因此土壤缺磷及利用率低已成为现代农业生产发展的主要限制因素之一^[3]。随着现代农业的发展, 土壤缺磷面积在不断增加, 我国农田缺磷面积接近 0.7 亿 hm^2 ^[4]。另一方面, 一些环境类报告已经证明过量的磷和氮是导致地表水质下降的罪魁祸首, 尤其是湖泊、河流和沿海地区的磷积累, 引起了全球的关注和对淡水供应减少的担忧^[5-7]。此外, 磷酸盐的质量正在下降, 开采、加工和运输的成本也在增加^[8]。无土栽培中对营养液的浓度把控也是长久以来需要注意的问题。因此, 确定不同植物种类的最佳磷浓度至关重要^[9]。本试验为了探究观花花卉与观叶花卉之间的需磷特性差异, 从而选择两种不同类型的温室花卉进行试验, 分别为观花植物天竺葵 (*Bullseye*

Scarlet) 和观叶植物彩叶草 (*Chocolate Scarlet*)。因为在不同生长阶段不同花卉的需磷特性也会有所改变。开花植物会有明显的由营养生长阶段到生殖生长阶段的变动特征, 而观叶花卉是无法直接观测到阶段变化的^[10-12]。将霍格兰营养液中 KH_2PO_4 调配为 6 个梯度 (3、5、10、15、20 和 $30 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$) 使磷元素变化^[13-16], 营养液中其他的营养元素保持不变, 在植物生长过程中定期测量生长参数。植物在营养生长阶段与生殖生长阶段收集试验材料时, 测量所有植物的各个部分的干重和其中磷的含量, 以及根部参数。分析数据得到磷的最大效率浓度。

1 材料与方法

1.1 灌溉系统

在美国普渡大学温室中将幼苗移栽到半径为 15 cm 的塑料容器中, 装满 1:1 (v/v) 的珍珠岩和蛭石混合基质。同时制作灌溉系统, 先准备 6 个相同体积大小的塑料桶用来装肥料, 再将 6 根长塑胶管道分别与短塑胶管相连, 然后将短的管道安装上水泵放入肥料桶内, 另一端长管道每隔一个花盆的距离扎一个小洞安装上按滴释放的塑胶滴头, 将每个滴头插入试验花盆中, 打开水泵开关控制施肥量定期施肥, 一般沥出 30% 水量时关闭水泵开关。

1.2 试验材料

在美国普渡大学温室播种两种植物, 天竺葵

收稿日期: 2018-11-06; 录用日期: 2019-02-02

基金项目: 黑龙江自然科学基金 (C2017030)。

作者简介: 张佳音 (1991-), 女, 黑龙江省双鸭山人, 硕士, 研究方向为风景园林专业植物。E-mail: 741312463@qq.com。

通讯作者: 樊金萍, E-mail: fan_xuer2000@aliyun.com; Hye-Ji Kim, E-mail: 444152232@qq.com。

(*Bullseye Scarlet*) 和彩叶草 (*Chocolate Scarlet*)。播种后两周左右, 取大小相同的幼苗移栽到装满了 1:1 (v/v) 珍珠岩和蛭石混合基质的半径为 15 cm 的塑料容器中。6 个不同磷浓度的肥料桶会安装水泵和计时器, 定时打开阀门, 将肥料从管道上升灌溉植物, 提供营养。试验期间, 除磷浓度不同外, 其他因素保持一致。

1.3 试验方法

6 种磷浓度, 每个处理有 9 株植物, 重复 3 次。经过计算, 每个磷肥料中磷的含量分别为 100、166、335、500、665、1 000 $\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ (对应浓度梯度 3、5、10、15、20、30 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$), 使用碳酸钙或硫酸调整 pH 值, 以保持 pH 值在 5.9 到 6.1 之间。温室中平均每日中午的温度以及相对湿度分别为 $[(28 \pm 4) \sim (23 \pm 2)]^\circ\text{C}$ 、 $(55 \pm 5)\%$, 午夜的温度以及相对湿度分别为 $[(24.4 \pm 2.4) \sim (20.9 \pm 0.5)]^\circ\text{C}$ 、 $(64 \pm 5)\%$ 。光合作用的辐射在一天中变化最大时为 $1\,000 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。所有植物贴好标签后打乱分布以避免环境误差。

1.4 项目测定

干重测定: 将收集好的各个植物体试验材料放入烘箱中, 温度设置为 75°C 预热后调至 60°C 直到完全烘干脱水。大约 3 d 后取出, 用电子称测量各部分的干重。

形态指标: 每周按照编码记录植物生长参数, 包括植株高度 (最高叶到表面)、冠幅、分枝数、叶片数, 叶片长 (长于 3 cm), 花的数量 (已经全开的花) 和开花植物的花苞数量, 开花时间, 花直径 (全开花两个垂直直径的平均值)。开花时间大约从移栽后 3 到 4 周开始。在生长阶段结束时收集试验材料再次记录全部生长参数。将每片长度超过 1 cm 的叶子放入叶片扫描仪进行叶表面积测量。

根部参数测定: 在收集试验材料时, 将根部与根上部分完整切开分离, 用水冲洗干净, 放于根部扫描仪器中进行扫描, 可得到根部参数数据 (总根长、根面积、根总体积、根尖数量)。

磷含量测定: 植物各部分的磷含量采用分光光度计进行测定。将所有烘干的植物材料都用 Wiley mill (Thomas Scientific, Philadelphia, PA) 进行研磨成颗粒大小, 然后将每一瓶中研磨物称量出 0.07 g 样品用 8 mL 盐酸进行酸化, 加入微孔过滤水, 将样品稀释 40 倍, 并按照分光光度法步骤添

加反应试剂 (Murphy and Riley, 1962), 然后用分光光度计 (DR3900, Hach Lange, Germany) 测定样品溶液的吸光度。按照标准曲线计算样品的磷浓度。测定得到植物各部分的磷含量, 而总的磷含量则为所有含量之和。

1.5 数据分析

采用 Microsoft 2010 进行数据计算, 用 JMP (SAS Institute, Cary, North Carolina) 统计软件进行方差分析, 采用单因素方差分析处理差异的显著性水平, 采用最小显著差数法 ($P < 0.05$, LSD) 进行不同处理间均值的显著性差异检验。

2 结果与分析

2.1 不同磷浓度处理下两种植物的表型差异

图 1 分别为两种植物在不同生长阶段结束时的生长状态。结合每周收集的形态指标可以看出, 两种植物在低磷浓度环境生长的植株比高磷浓度植株更矮小, 而且天竺葵的开花数量也随着磷浓度增高而增多。在 3 周后收获的植株观测到天竺葵在磷浓度大于 $20 \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 的植株生长参数没有明显差异。而生长 6 周后收集的数据可观察到磷浓度在 $15 \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 以上的植株之间无论是花苞数量还是叶片数量没有明显差别。营养生长阶段的彩叶草最佳磷浓度为 $15 \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 而 5 周后收获的最佳磷浓度为 $10 \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

2.2 不同磷浓度对两种植物植株干重的影响

从图 2 可知, 天竺葵与彩叶草的根部干重与茎叶干重的比率在营养生长阶段随着磷浓度增高而降低, 说明在这个阶段, 磷营养会随着茎叶增多而将养分从根部提取送到枝叶。在生殖生长阶段中, 天竺葵在磷浓度为 $15 \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 的环境下植物量逐渐增长, 与高磷浓度植物量几乎持平。茎叶与花苞的生长使植株地上部分的重量从营养生长到花期一直稳步上升。茎叶与根的植物干重差异逐渐减小直接说明了大量的养分提供给花苞发育所用。各个处理的植物几乎同时开花, 磷浓度越大花的干重越大, 说明开花时间不会被磷浓度的大小所决定, 但是磷对花的大小有影响。而生殖生长阶段彩叶草在磷浓度为 $10 \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 的环境下植物量逐渐增长, 与高磷浓度植物量几乎持平。根部干重的变化趋势比茎叶干重更明显, 在生殖生长阶段叶片的生长速度逐渐缓慢, 说明在植物后期生长过程中磷对茎叶的影响相对较小。

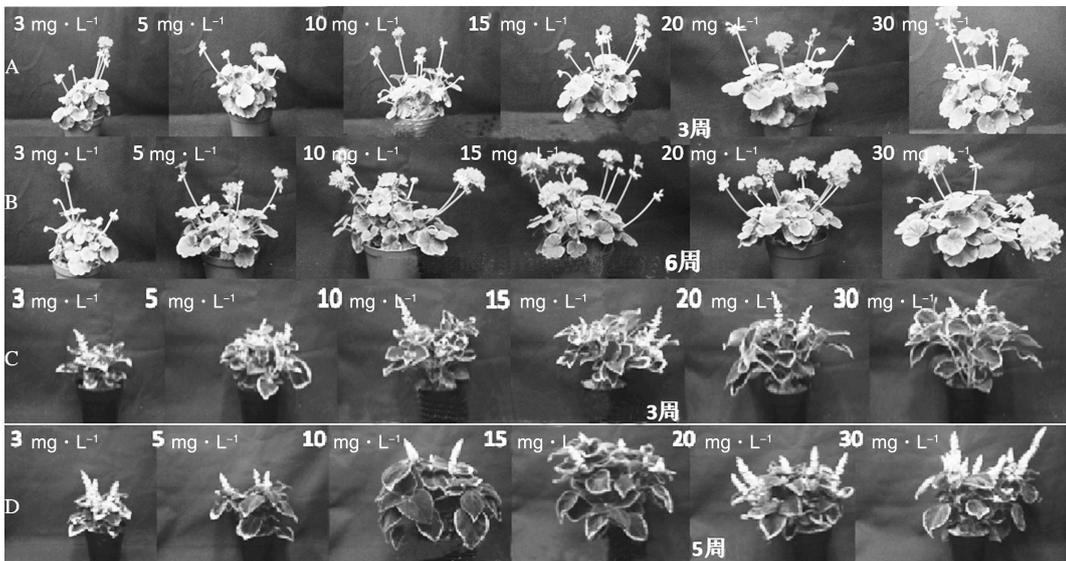


图1 在不同磷处理下天竺葵和彩叶草在第3周与第5、6周时的表现差异
注: A、B为天竺葵, C、D为彩叶草。

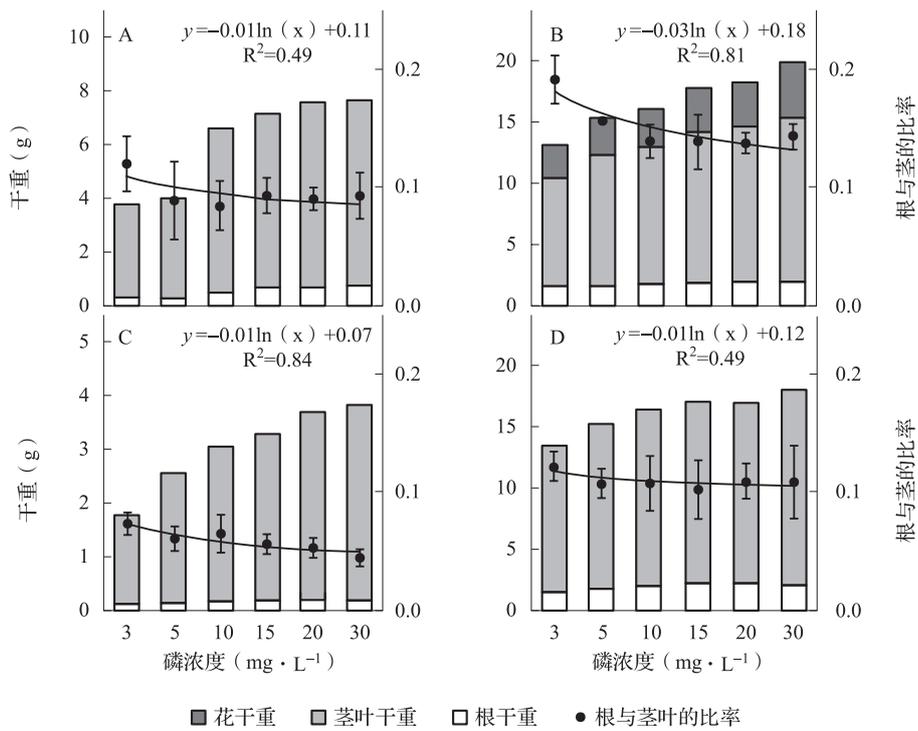


图2 在不同磷浓度环境下对两种植物的根与茎的比率, 花、茎叶和根干重的影响
注: A、B为天竺葵, C、D为彩叶草; 左边为营养生长阶段, 右边为生殖生长阶段。

2.3 不同磷浓度对两种植株根部参数的影响

表1反映了两种植物在不同生长阶段不同磷浓度处理下根部参数的变化。根系作为植物重要的吸收器官和代谢器官, 它的生长发育直接影响到地上部分茎叶的生长。天竺葵与彩叶草在营养生长阶段

根部生长参数没有茎叶部分差异明显。在生殖生长阶段的根部数据显示不同磷处理的植物比营养生长阶段差异更显著, 说明植物生长后期磷在根部的使用效率更大。在植株生长后期, 总根长与根的表面积极比前期受磷浓度变化影响更大。

表 1 不同磷浓度处理下两种植物在不同生长阶段的根部参数

品种	磷浓度 ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	总根长 (m)	总根 表面积 (cm^2)	总根体积 (cm^3)	平均根 半径 (cm)
天竺葵 (3周)	3	8.0b	149a	1.9c	0.55a
	5	8.0b	164a	2.1bc	0.55a
	10	9.3ab	173a	2.3abc	0.55a
	15	9.6ab	201a	2.8abc	0.55a
	20	11.1ab	204a	3.1ab	0.56a
	30	11.7a	205a	3.3a	0.56a
彩叶草 (3周)	3	8.3ab	140b	1.6c	0.51b
	5	8.4b	144b	1.7c	0.51ab
	10	8.7ab	146ab	2.0bc	0.53ab
	15	8.7ab	151ab	2.4ab	0.55ab
	20	9.0ab	153b	2.5ab	0.56ab
	30	10.2a	169a	2.6a	0.56a
天竺葵 (6周)	3	12.6c	267.2c	4.5c	0.63b
	5	13.8c	292.6c	5.6bc	0.68ab
	10	16.7bc	313.9bc	6.5abc	0.70a
	15	20.1ab	400.4ab	7.0ab	0.71a
	20	20.5ab	420.4ab	7.3ab	0.73a
	30	23.4a	479.9a	7.9a	0.73a
彩叶草 (5周)	3	18.0b	415.6c	7.7c	0.72b
	5	21.3ab	512.4bc	9.5bc	0.73b
	10	24.9ab	568.4bc	10.6bc	0.76ab
	15	32.5ab	719.5abc	15.6ab	0.78ab
	20	42.6ab	745.2ab	17.3a	0.80ab
	30	46.0a	946.2a	18.5a	0.84a

注：同列不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著。

2.4 不同磷浓度处理下两种植株内在磷含量的变化

将完成不同生长阶段的植物的各个部分进行磷含量分析，从图 3 中可看出，在营养生长阶段收获的天竺葵中不同浓度处理的根部的磷含量差异比茎叶的变化差异小。生殖生长过程中，由于花的生长，茎叶与根部中的磷含量在各个处理中差异相比营养生长阶段小，花中磷含量变化最为明显。而从图 4 中可看出，营养生长阶段的彩叶草在不同浓度处理下根部的磷含量差异比茎叶的变化差异小。生殖生长过程中，彩叶草没有花的生长，在不同处理中比天竺葵的植物体各部分磷含量变化差异更明显。

2.5 不同磷浓度处理下两种植物在不同生长阶段磷的利用率变化

磷的利用率是指植物吸取的每个单位量磷产生的植物量大小，磷的利用率 = 植物干重 (g) / 磷含量 (mg)。它能更好地确定干重值是否达到符合的标准。在本试验中，相对低磷环境中的磷利用率较高。根部的形态特征也会随着磷的使用量变化，磷营养不足时，根长增长，根与茎的比率变大，植物通过加强根部吸收能力来更好地适应磷的缺失状态。从表 2 可以看出，两种植物中天竺葵的磷利用率更高，说明开花植物的储磷能力更强。

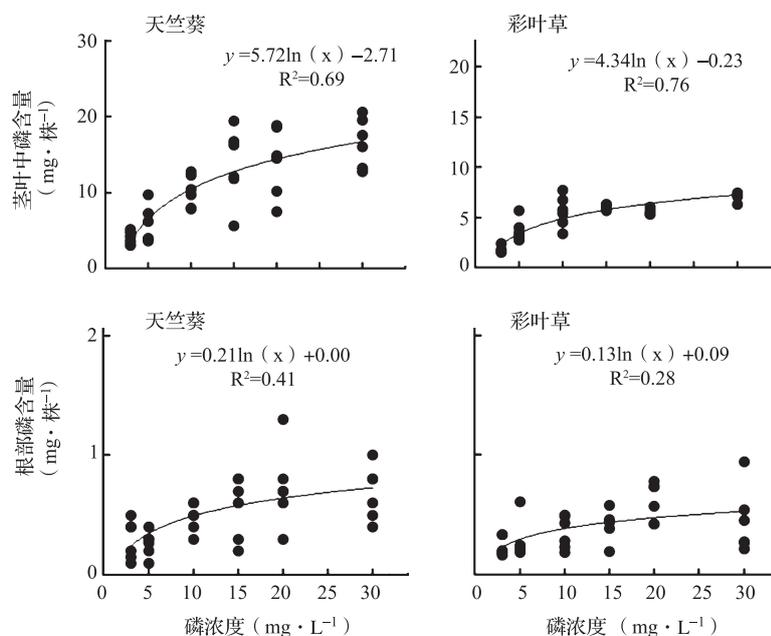


图 3 3 周后取样的营养生长阶段天竺葵和彩叶草在不同磷浓度处理下植物体内磷含量变化

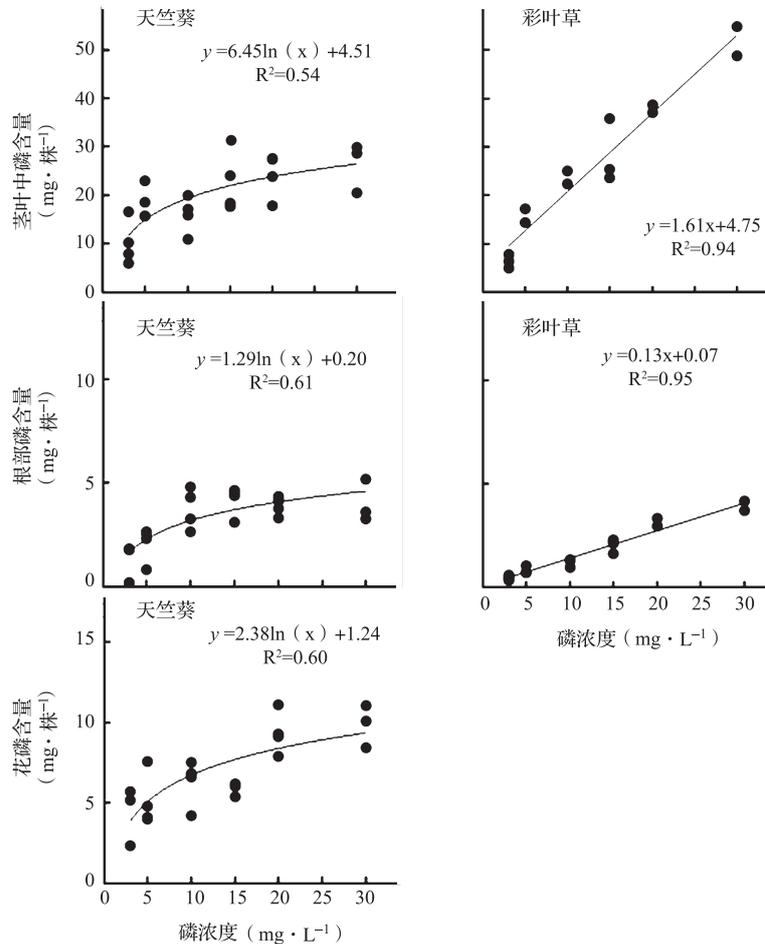


图 4 在生殖生长阶段天竺葵 (6 周后取样) 和彩叶草 (5 周后取样) 不同磷浓度处理下植物体内磷含量变化

表 2 不同磷浓度处理下两种植物在不同生长阶段磷的利用率 (%)

品种	浓度 (mg · L ⁻¹)					
	3	5	10	15	20	30
天竺葵 (3 周)	15.6	11.0	7.1	4.6	4.1	2.8
彩叶草 (3 周)	3.8	3.6	2.2	1.4	1.2	0.8
天竺葵 (6 周)	23.5	16.1	6.3	4.4	3.9	2.7
彩叶草 (5 周)	11.1	10.1	5.3	3.8	3.2	3.4

3 讨论

3.1 不同磷浓度对营养生长阶段天竺葵和彩叶草的影响

磷元素是植物生长中需求量较大的矿质营养元素, 在本试验中可看出在植物随着磷浓度增高, 植物生长参数逐渐增大。但是由于磷在土壤中的低有效性和移动性, 会常常限制着植物的生长发育^[17]。

本试验得出, 在营养生长阶段, 天竺葵的最适磷浓度为 20 mg · L⁻¹, 彩叶草为 15 mg · L⁻¹。其中两种植物的茎叶部分的生物量积累所受到的影响均比根部显著。

根据测量叶片的数量得出, 高磷浓度情况下的天竺葵生长比低磷浓度的更紧凑; 高磷浓度情况下的彩叶草的叶片数量比低磷情况多 32%, 说明磷对于两种植物叶片数量的影响相对明显。前人的研究表明, 磷对根部生长起到重要作用, 植物倾向于在低磷浓度环境中会为根提供更多的营养, 因为根系形态及其在低磷胁迫条件下的变化是影响植物吸磷能力的一个重要因素, 植物在低磷胁迫条件下, 不仅地上部同化物向根系的运输量增加^[18], 而且根系对同化物的利用效率也有所提高^[19], 继而使缺磷植物的根冠比增大, 根冠比率增大是植物适应低磷胁迫的机制之一。在本试验中低磷环境生长的天竺葵与彩叶草的根冠比率都相对较大, 可得出在低

磷浓度环境中, 根的生长相对更稳定。这是由于植物缺磷对地上部生长的抑制大于对根系生长的抑制。

3.2 不同磷浓度对生殖生长阶段天竺葵和彩叶草的影响

本试验得出, 从营养生长阶段到生殖生长阶段的转变会受到磷浓度的影响。在生殖生长阶段, 高磷浓度的植物生长逐渐缓慢。这也印证了王丽云等^[20]得出的结论, 不同量的磷对于生殖生长阶段的植物所表现出的差异较营养生长阶段显著, 并且主要表现为开花率和结果率与磷的浓度呈正相关。刘朔等^[21]、向振勇等^[22]也研究得出, 磷对植物生殖生长的数量性状具有明显的促进作用。尽管植物的干重随着磷浓度的增加而增加, 但是在高于 $15 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 磷浓度的植物中并没有显著差异。无论在任何一个生长阶段, 高磷浓度生长环境下没有出现大多数人认为的营养越多植物生长情况越好的现象。两次收获的根数据(根长、根的表面面积和体积)表明, 在磷不足的情况下, 根比充足磷浓度环境下的根生长更有潜力。金剑等^[23]研究的结果表明, 在不同浓度的磷处理期间, 高浓度的磷所处理的植株根系性状弱于低浓度的磷处理, 而且植物全株干重无明显差异, 这就说明磷浓度对于植物体来说不是越高越好, 促进生长作用的浓度也是有范围的。

在营养生长阶段收获的天竺葵中, 检测并分析磷浓度含量的数据可发现, 营养生长阶段的根部的磷营养含量是茎叶磷含量的3倍左右, 但是到了生殖生长阶段, 根部中大部分磷营养被花吸收, 而茎叶中的磷含量可以依旧保持稳定。此时根冠的比率在磷浓度最低的植物中是最高的, 但是随着磷浓度梯度的增高比率以指数曲线下降。根据数据显示花的生长参数也受磷含量的影响。不同磷浓度生长的天竺葵花的大小相似, 花的数量和花苞的参数也没有明显差异, 磷浓度高的植株花更紧实。

彩叶草移栽5周后的数据显示, 磷浓度为 $15 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 处理的彩叶草, 干重和高磷浓度处理差异不显著, 而且根的数据几乎完全相同, 叶面积甚至比高磷浓度生长的植株大7%。但是根冠的比率随着磷浓度增高逐渐下降, 表明磷浓度高的植株生长更紧实。因为彩叶草是观叶植物, 无法从开花时间点判断其生长阶段的转变, 但是数据中干重的变化和磷的需求量可以很明显的表现出这个转变

过程。

4 结论

通过对在不同磷浓度下培养的天竺葵及彩叶草的生长、生理指标的测定, 可以得到以下结论:

(1) 天竺葵和彩叶草在植物营养生长和生殖生长过程中, 植物的生长参数以对数函数速率而增加。

(2) 天竺葵和彩叶草的茎叶部分在营养生长期对磷的需求量大于生殖生长期; 在不同的生长时期, 磷元素对彩叶草生长的影响始终大于对天竺葵生长的影响。

(3) 在植物营养生长期间, 天竺葵的最佳浓度为 $20 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 无论是生长参数、根部参数、干重、植物内含的磷含量和磷的利用率来说, 在此浓度生长下的植株与更高磷处理的植株无明显区别, 而生殖生长阶段的最适浓度则为 $15 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 在后期生长中, 大量营养物质由根部和茎叶转入到花的生长, 两个生长阶段之间的转换同样是对磷元素利用率和需求转变。

(4) 对彩叶草来说, 营养生长阶段最适磷浓度为 $15 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 观叶植物的前期生长可在叶片数量与叶片面积上体现, 对根部来说, 高磷环境下没有更多生长优势。而生殖生长阶段 $10 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 为最佳磷浓度, 在植物生长后期, 中低等磷浓度生长的植物逐渐增长到与高磷植物持平, 植物的变化可以显示出生长阶段的变化, 所以对于彩叶草来说, 所需要的磷元素比开花植物相对更低。

参考文献:

- [1] Steen I. Phosphorus availability in the 21st century: management of a nonrenewable resource [J]. *Phosphorus and Potassium*, 1998, 217: 25-31.
- [2] 严小龙. 热带土壤中菜豆质耐低磷特性的评价 [J]. *植物营养与肥料学报*, 1995, 1(1): 30-37.
- [3] Barber S A, Walker J M, Vasey E H. Mechanisms for movement of plant nutrients from soil and fertilizer to plant root [J]. *J agric food Chem*, 1963, 11(3): 204-207.
- [4] 李庆达, 蒋柏藩, 鲁如坤. 中国磷矿的农业利用 [M]. 南京: 江苏科学技术出版社, 1992.
- [5] Carpenter S R, Caraco N F, Correll D L, et al. Nonpoint pollution of surface waters with phosphorus and nitrogen [J]. *Ecol Appl*, 1998, (8): 559-568.
- [6] Runge-Metzger A. Closing the cycle: obstacles to efficient Pmanagement for improved global food security [M]. *SCOPE 54* -

- phosphorus in the global environment – transfers, cycles and management, 1995.
- [7] Ahmad Z, Gill M A, Qureshi R H. Genotypic variations of phosphorus use efficiency of crops [J]. Journal of Plant Nutrition 2001, 24: 1149–1171.
- [8] Murphy J, Riley J P. A modified single method for determination of phosphate in natural waters [J]. Anal Chim Acta, 1962, 27: 31–36.
- [9] Charest C, Clark G, Dalpe Y. The Impact of arbuscularmycorrhizae and phosphorus status on growth of two turfgrass species [J]. Journal of Turfgrass Management, 1997, 2 (3): 1–14.
- [10] Borkert C M, Barber S A. Soybean shoot and root growth and phosphorus concentration as affected by phosphorus placement I [J]. Soil Science Society of America Journal, 1985, 49 (1): 152–155.
- [11] Hansen C W, Lynch J. Response to phosphorus availability during vegetative and reproductive growth of chrysanthemum: II. Biomass and phosphorus dynamics [J]. J Amer Soc HortSci, 1998, 123: 223–229.
- [12] Whitcher C L, Kent M W, Reed D W. Phosphorus concentration affects New Guinea impatiens and Vinca in recirculating sub-irrigation [J]. HortScience, 2005, 40: 2047–2051.
- [13] Hoagland D R, Arnon D I. The water– culture method for growing plants without soil [J]. Univ Calif Coll Agr Expt Sta Circ, 1950, 347 (5406): 357–359.
- [14] James E C, van Iersel M W. Ebb and flow production of petunias and begonias as affected by fertilizers with different phosphorus content [J]. HortScience, 2001, 36: 282–285.
- [15] Baligar V C, Fageria N K, He Z L. Nutrient use efficiency in plants [J]. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 2001, 32: 921–950.
- [16] Fageria N K, Baligar V C. Phosphorus–use efficiency by corn genotypes [J]. Journal of Plant Nutrition, 1997, 20: 1267–1277.
- [17] 鲁如坤. 土壤磷素水平和水体环境保护 [J]. 磷肥与复肥, 2003, 18 (1): 4–6.
- [18] Greenwood D J, Stellacci A M, Meacham M C, et al. Components of P response of different Brassica oleracea genotypes are reproducible in different environments [J]. CropScience, 2005, 45: 1728–1735.
- [19] Angel R. Removal of phosphate from sewages as amorphous calcium phosphate [J]. Environmental Technology, 1998, 20: 709–720.
- [20] 王丽云, 刘小金, 崔之益, 等. 施肥对降香黄檀营养生长和生殖生长的影响 [J]. 植物研究, 2018, 38 (2): 225–231.
- [21] 刘朔, 余波, 何朝均, 等. 不同施肥处理对膏桐幼林结实的影响 [J]. 西南林业大学学报, 2009, 29 (3): 11–14.
- [22] 向振勇, 郎南军, 袁瑞玲. 不同的磷肥水平对麻疯树产量及生长的影响 [J]. 现代园艺, 2012, (18): 8–9.
- [23] 金剑, 王光华, 刘晓冰, 等. 不同施磷量对大豆苗期根系形态性状的影响 [J]. 大豆科学, 2006, 25 (4): 360–364.

Phosphorus requirements of geranium and coleus during vegetative and reproduction growths

ZHANG Jia-yin¹, WANG Jing-yi¹, FAN Jin-ping^{1*}, Hye-Ji Kim^{2*} (1. Northeast Agriculture University, Harbin 150030; 2. Purdue University, Department of Horticulture and Landscape Architecture 625 Agriculture Mall Drive, West Lafayette 47907–2010)

Abstract: In order to determine the optimal concentration of phosphorus required for the production of geranium (*Bullseye Scarlet*) and coleus (*Chocolate Scarlet*), this experiment adjusted the concentration gradient of KH_2PO_4 in Hogan's nutrient solution (0, 3, 5, 10, 15, 20 and 30 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$) which changed the concentration of phosphorus, and used it to drip plants, then explored the effect of phosphorus nutrition on the growth and development of geranium and coleus. The results showed that during the vegetative growth and reproductive growth of geranium and coleus, the growth parameters of plants increased with the logarithmic function rate. The stem and leaf parts of geranium and coleus had higher phosphorus requirement during vegetative growth than reproductive growth. During the different growth period, the effect of phosphorus on the growth of coleus was always greater than that on the growth of geranium. During the vegetative growth, the optimum phosphorus concentration of geranium was 20 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$. During the reproductive growth stage, the optimum phosphorus concentration for growth was 15 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$. During the vegetative growth period, the optimum phosphorus concentration for the growth of coleus was 15 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$. In the reproductive growth stage, the optimum phosphorus concentration for coleus growth was 10 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$.

Key words: phosphorus concentration; growth parameters; phosphorus use efficiency