植物营养与肥料学报 2008,14(5):1001-1007
Plant Nutrition and Fertilizer Science

菊科花卉常见缺素症及植株养分含量变化探讨

王敏艳[1],吴良欢[1*],俞信英[2],王炜勇[2],梁静静[3]
(1 浙江大学环境与资源学院,环境修复与生态健康教育部重点实验室,杭州 310029;
2 浙江省农业科学院花卉研究开发中心,杭州 310021;浙江医药股份有限公司新昌制药厂,浙江新昌 312500)

摘要:通过溶液培养的方法,研究了3种主要菊科花卉(金盏菊、孔雀草、万寿菊)在缺N、P、K、Ca、Mg、S条件下的缺素症状及其生物量与营养元素变化情况。结果表明,金盏菊、万寿菊缺N,孔雀草缺K时症状最为明显;缺N对金盏菊、孔雀草、万寿菊的植株生物量影响最大;与全素(CK)相比,金盏菊和万寿菊缺K处理植株N浓度增加,3种花卉缺N、缺K处理均增加植株的P含量,但缺P处理降低植株K浓度,缺K处理增加其含Ca量,缺Ca处理增加其含K量和含Mg量,金盏菊缺Mg处理的含K量增加,3种花卉缺S处理植株S含量降幅不大,孔雀草和万寿菊缺N、P、K、Ca处理均可导致植株S含量增加。

关键词:金盏菊;孔雀草;万寿菊;缺素
中图分类号:S682.1 Q46.91　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1008-505X(2008)05-01001-07

Study on common symptoms of element deficiency and concentration changes of nutrients in compositae plants

WANG Min-yan[1], WU Liang-huan[1*], YU Xin-ying[2], WANG Wei-yong[2], LIANG Jing-jing[3]
(*1 Ministry of Education Key Lab of Environmental Remediation and Ecosystem Health, College of Environmental and Resource Sciences, Zhejiang University, Hangzhou 310029, China; 2 The Institute of Flowers, Zhejiang Academy of Agricultural Sciences, Hangzhou 310021, China; 3 Zhejiang Medicine CO, LTD. Xinchang Pharmaceutical Factory, Xinchang, Zhejiang 312500, China*)

Abstract: Three compositae plants, as *Calendula officinalis*, *Tagetes patula*, *Tagetes erecta*, were cultured in N, P, K, Ca, Mg and S deficient solution. The nutrient deficiency symptoms, biomass and nutrient concentration of plant were studied. The results showed that N deficiency of *Calendula officinalis* and *Tagetes erecta* were most visible, while the deficiency of *Tagetes patula* cultured under K deprived solution was most visible. Compared to CK, N concentration of *Calendula officinalis* and *Tagetes erecta* increased when cultured under K deprived solution. Of all the three plants, P concentration increased when plant grown without N or K, and K concentration decreased when P was deficient. K and Mg concentration increased when Ca was deficient. Ca concentration was increased when K was not supplied. K concentration of *Calendula officinalis* was enhanced when Mg was not supplied. S concentration of three plans was not decreased gradually without S being supplied, and S concentration of *Tagetes patula* and *Tagetes erecta* were enhanced when N, P, K and Ca were deficient.

Key words: *Calendula officinalis*; *Tagetes patula*; *Tagetes erecta*; element deficiency

菊科是我国种子植物最大科,约有230属,2300余种[1],其中栽培观赏植物主要属于向日葵族、金盏花族和堆心菊族。金盏菊、孔雀草、万寿菊是我国近年来种植较多的菊科花坛花卉,也是重要的盆栽和切花花卉。金盏菊又叫长生菊,俗名长春花,系菊科金盏花族金盏菊属,万寿菊又名金菊花、蜂窝菊,孔雀草又名红黄草,同为堆心菊族万寿菊属,这3种花卉都具有株型紧凑,花大艳丽、种植简便等特点,其营养特性与别科植物也有较大差异。然而,由于目前国内对草花的营养管理非常粗放,对于菊科植物

收稿日期:2007-10-08　　接受日期:2008-01-31
基金项目:国家自然科学基金项目(30370838);杭州市科技发展计划(20045321I3)资助。
作者简介:王敏艳(1982—),女,浙江仙居人,硕士研究生,主要从事花卉营养生理及栽培基质研究工作。
* 通讯作者 Tel:0571-86971921, E-mail:lhwu@zju.edu.cn

没有专用的营养液供应，进口肥料不仅价格昂贵，而且供货不及时，普遍存在盲目施肥、栽培管理不当的问题，因各种缺素造成花卉生长发育受抑现象屡屡出现，严重影响花卉产业的快速发展。花卉营养缺素可通过症状描述、栽培介质分析、植株测定等方法进行判断。但不同花卉的缺素症状差别较大，各种缺素条件下植株体内营养元素的变化情况也不相同。迄今为止，已有一些学者对某些花卉缺素症状和叶片营养元素含量做了相关分析[2-3]，但未见有关菊科花卉缺素研究方面的试验报道。本试验在溶液培养条件下对金盏菊、孔雀草、万寿菊等 3 种主要菊科花卉常见缺素症及其生物量与营养元素变化情况进行了研究，以期为该类花卉养分管理提供理论与技术依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验于 2005 年 3 月至 2005 年 4 月在浙江省农业科学院花卉研究开发中心日光温室内进行。供试花卉为金盏菊(*Calendula officinalis*)、孔雀草(*Tagetes patula*)、万寿菊(*Tagetes erecta*)。选取长势均匀的幼苗进行溶液培养试验，容器采用塑料盆钵，每盆容积 4 L，以泡沫板固定植株，每盆 3 株，重复 3 次。

试验设 7 个处理：1)全素(CK)；2)缺 N(－N)；3)缺 P(－P)；4)缺 K(－K)；5)缺 Ca(－Ca)；6)缺 Mg(－Mg)；7)缺硫(－S)。各处理按照相应霍格兰完全营养液或缺素营养液配制；Fe 1.2 mg/L，以酒石酸铁配入；微量元素以 Arnon 配方配入(其中的硫酸盐以氯盐代替)，每 7 d 更换一次营养液。至每个处理表现出明显缺素症状后结束试验。所有样品同期采收。

1.2 测定项目与方法

植株用 0.01 mol/L 稀盐酸浸泡漂洗数秒后，用蒸馏水反复冲洗干净，吸水纸吸干剩余水分，放入纸样品袋，在 105℃杀青，65℃烘至恒重。同盆钵的 3 植株一同粉碎作为一个分析样品。

生物学性状测定：缺素症状记录，株高、根长，地上部鲜重、干重，地下部鲜重、干重。

植株营养元素含量测定[4]：样品经 H_2SO_4－H_2O 消煮，N 用定氮仪法，P 用钼蓝比色法，K 用火焰分光光度计测定；样品 Ca、Mg 含量用 HNO_3－$HClO_4$ 消煮，原子吸收法测定；样品 S 含量用 HNO_3－$HClO_4$ 消煮，比浊法测定。

试验数据统计采用 Duncan's 新复极差检验法。

2 结果与分析

2.1 缺素症状

3 种花卉的元素缺乏症状有部分相似，如缺 N 时均表现出植株矮小等症状，但种类间差异也相当明显，从出现症状时间和受害叶片比例等判断，金盏菊对缺 N、缺 K、缺 Ca 反应敏感，孔雀草对缺 P 最敏感，其次是缺 N 和缺 K，万寿菊对 N、P、K、Ca 比较敏感，且以缺 N 症状最为明显。3 种花卉各个处理同一盆钵的 3 株幼苗缺素表现较为相近，其具体缺素症如下：

2.1.1 金盏菊 缺氮处理表现为植株矮小，老叶失绿叶缘干枯，花秆干枯，花盘细小；缺磷处理老叶黄化干枯，叶面皱缩；缺钾处理老叶叶尖、叶缘变黄，部分呈烧焦状，叶片卷曲，花秆短小；缺钙处理植株新叶失绿黄化，叶尖呈弯钩状，叶片细小，花蕾腐烂；缺镁处理植株新叶卷曲，花期延迟，花形小；缺硫处理新叶均匀失绿、变黄。

2.1.2 孔雀草 缺氮处理表现为植株矮小，老叶失绿黄化干枯，花秆短花瓣少，花盘细小；缺磷处理植株矮小，老叶出现紫红色斑块；缺钾处理植株矮小，老叶出现褐色斑点，叶尖黄化；缺钙处理植株植株矮小，顶芽枯死；缺镁处理植株新叶叶色较淡，叶片脆易碎，叶尖卷曲；缺硫处理新叶均匀失绿。

2.1.3 万寿菊 缺氮处理表现为植株矮小，老叶叶尖出现紫红色斑点，逐渐扩大到整叶；缺磷处理植株植株矮小，老叶呈均匀紫色；缺钾处理植株植株极度矮小，老叶叶尖、叶缘出现紫色斑块，后整叶干枯；缺钙处理新叶失绿，出现紫色斑点，顶芽枯死；缺镁处理植株新叶均匀失绿，叶片脆易碎；缺硫处理新叶均匀失绿，部分老叶叶尖出现紫色斑点。

2.2 缺素对植株生物量的影响

表 1 看出，金盏菊缺 N、缺 P、缺 K、缺 Ca 处理的地上部鲜重比对照分别降低了 47.8%、29.5%、31.7%、40.1%，达到显著水平；各处理的地下部鲜重仅缺 N 和缺 K 处理比对照依次减少了 33.8%、42.4%，达到显著水平。地上部干重以缺 K 处理最小，较对照减少了 24.6%，达到显著水平；地下部干重差异不显著。对照植株含水量为 87.0%，各缺素处理含水量间差异也未达显著水平。综合比较可知，缺 N、缺 Ca 对金盏菊的生物量的影响较大，缺 Mg、缺 S 的影响较小。

孔雀草经缺素栽培后，各处理的地上部、地下部鲜重显著低于对照，地上部、地下部干重也低于对照

(表 1)。地上部鲜重最小的是缺 N 处理，比对照减少了 90.7%；其余缺 P、缺 K、缺 Ca、缺 Mg、缺 S 处理的减少率分别为 83.1%、76.4%、74.3%、24.4%、51.2%。地下部鲜重最小的是缺 Ca 处理，低于对照 80.4%；其余缺 N、缺 P、缺 K、缺 Mg、缺 S 各处理依次低于对照 77.7%、69.1%、78.3%、21.5%、18.4%。缺 N、缺 P、缺 K、缺 Ca、缺 S 处理的地上部干重依次比对照减少了 67.7%、68.1%、60.3%、56.1%、41.6%。缺 N、缺 P、缺 K、缺 Ca 处理的地下部干重依次比对照减少了 67.8%、73.2%、52.2%、66.6%。对照含水量为 92.3%，缺 N 处理的含水量为 82.2%，缺 P、缺 K、缺 Ca 含水量约为 87%，缺 Mg、缺 S 含水量约为 91%，除缺 Mg、缺 S 外，其余缺素处理与对照含水量差异显著。缺 N 对孔雀草的生物量影响最大，缺 Mg、缺 S 的影响较小，与金盏菊相比，出现明显缺素症状时缺素对孔雀草植株重量的影响更大。

表 1 还看出，万寿菊经缺素栽培后，各处理地上部鲜干重显著低于对照；除缺 S 处理其余处理的地下部鲜重显著低于对照。缺 N、缺 P、缺 K、缺 Ca、缺 Mg、缺 S 处理地上部鲜重分别比对照减少了 94.8%、89.7%、83.2%、77.0%、44.3%、37.8%；缺 S 处理地下部鲜重比对照高出 18.2%，达显著水平；其余缺 N、缺 P、缺 K、缺 Ca、缺 Mg 处理依次减少了 89.4%、78.5%、78.4%、64.4%、31.1%。各处理的地上部干重依次比对照减少了 83.9%、81.8%、69.9%、67.8%、38.5%、35.5%。缺 S 处理地下部干重高于对照；其余缺 N、缺 P、缺 K、缺 Ca、缺 Mg 处理依次减少了 74.9%、65.9%、61.4%、52.7%、19.7%。对照和缺 S 处理的含水量均为 92.2%；缺 N、缺 K 处理显著低于对照，分别为 79.7%、86.6%；缺 P、缺 Ca、缺 Mg 处理与对照相近。缺素处理对万寿菊重量的影响与孔雀草相似，缺 N 的影响最大，缺 Mg、缺 S 的影响较小，且缺 S 处理根系的重量超过了对照。

表 1　不同缺素处理对菊科植株生物量的影响(g/plant)

Table 1　Effects of different element deficiencies on biomass of three compositae plants

处理 Treat	金盏菊 *Calendula officinalis*				孔雀草 *Tagetes patula*				万寿菊 *Tagetes erecta*			
	地上部 Shoot		地下部 Root		地上部 Shoot		地下部 Root		地上部 Shoot		地下部 Root	
	鲜重 FW	干重 DW	鲜重 FW	干重 DW	鲜重 FW	干重 DW	鲜重 FW	干重 DW	鲜重 FW	干重 DW	鲜重 FW	干重 DW
CK	14.10 a	1.99 a	3.58 a	0.29 a	10.74 a	0.92 a	6.03 a	0.36 a	18.14 a	1.64 a	9.66 b	0.53 ab
－N	7.36 c	1.65 ab	2.37 ab	0.24 a	1.00 f	0.30 d	1.35 c	0.10 b	0.94 d	0.26 c	1.03 e	0.13 c
－P	9.94 bc	1.70 ab	2.84 ab	0.28 a	1.82 ef	0.29 d	1.87 c	0.18 b	1.88 d	0.30 c	2.07 e	0.18 c
－K	9.63 bc	1.50 b	2.06 b	0.25 a	2.54 de	0.37 cd	1.30 c	0.12 b	3.05 cd	0.49 c	2.09 e	0.21 c
－Ca	8.45 bc	1.65 ab	2.69 ab	0.31 a	2.76 d	0.40 c	1.18 c	0.11 b	4.18 c	0.53 c	3.44 d	0.25 c
－Mg	11.78 ab	1.84 ab	3.04 ab	0.32 a	8.12 b	0.82 a	4.73 b	0.37 a	10.11 b	1.01 b	6.65 c	0.43 b
－S	11.95 ab	1.95 a	3.01 ab	0.31 a	5.25 c	0.54 b	4.92 b	0.35 a	11.27 b	1.06 b	11.42 a	0.68 a

注 (Note)：数据后不同小写字母表示 5%显著水平，下同 Values followed by different letters mean significantly different at 5% level. The same below.

2.3　缺素对植株营养元素含量影响

2.3.1　植株 N 含量　图 1 表明，金盏菊、孔雀草、万寿菊全素栽培情况下植株的 N 含量差异不大，其数值依次为 3.0%、3.1%、3.3%，但在不同缺素条件下差别较大。金盏菊、孔雀草、万寿菊经缺 N 处理后植株 N 含量分别为对照的 85.2%、49.8%、53.8%，差异均达显著水平。缺 P 处理植株的 N 含量显著低于对照，金盏菊减少了 13.7%，孔雀草减少了 20.9%，万寿菊为 14.9%。缺 K 处理万寿菊的植株 N 含量显著高于对照，增加了 12.5%；而孔雀草缺 K 处理的含 N 量减少了 12.8%；金盏菊与对照差异不显著。孔雀草缺 Ca 处理的 N 含量显著低于对照，减少了 25.4%，缺 Mg、缺 S 处理的 N 含量与对照差异不大。

2.3.2　植株 P 含量　3 种花卉以孔雀草的植株含 P 量最大，万寿菊次之，金盏菊最小(图 2)。金盏菊在缺 N、缺 K 处理下 P 的吸收量极度增加，其值分别高于对照 93.9%、589.6%；缺 P 处理的植株含 P 量约为对照的 64.3%；缺 Ca、缺 Mg、缺 S 处理的含 P 量与对照相当。孔雀草在缺 N、缺 K 处理下 P 的吸收量也较大，分别高于对照 105.2%、106.0%；缺 P 处理的植株含 P 量约为对照 23.6%；缺 Ca、缺 Mg、缺

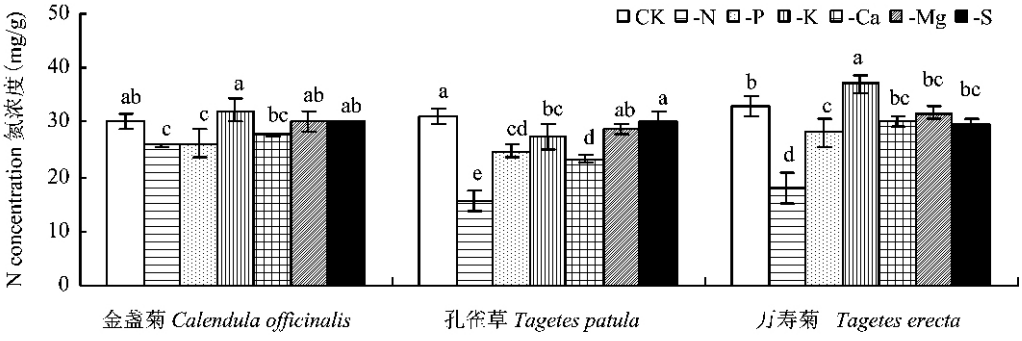

图1 缺素对菊科植株N含量的影响

Fig.1 Effects of different element deficiencies on N concentration of the three compositae plants

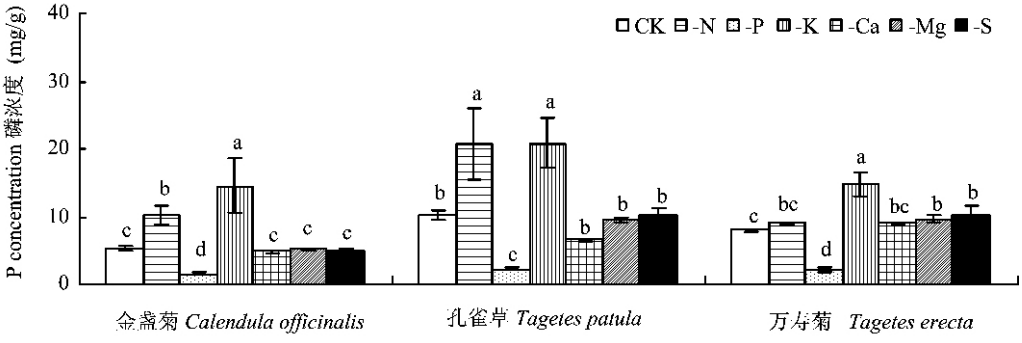

图2 缺素对菊科植株P含量的影响

Fig.2 Effects of different element deficiencies on P concentration of the three compositae plants

S处理的含P量与对照差别不大。万寿菊缺P处理的植株含P量约为对照的26.5%,其余处理的植株含P量有所提高,其中缺钾处理的含P量比对照高出了86.6%,达显著水平。

2.3.3 植株K含量 图3看出,3种花卉对照植株含K量为:孔雀草>万寿菊>金盏菊。缺K处理金盏菊K含量为对照的73.6%,孔雀草为17.8%,万寿菊为20.3%。金盏菊缺P、缺Mg、缺S处理K含量显著高于对照,分别增加了23.9%、51.5%、34.7%;缺Ca处理差异不大;缺N处理显著降低,比对照减少了11.9%。孔雀草缺Mg、缺S处理植株K含量与对照相当;其余处理显著低于对照,缺N处理降低了62.2%,缺P处理降低了46.8%,缺Ca处理降低了39.7%。万寿菊缺N、缺P处理的K含量显著低于对照,分别降低了30.1%、27.1%;缺Ca、缺Mg、缺S处理的K含量与对照相近。

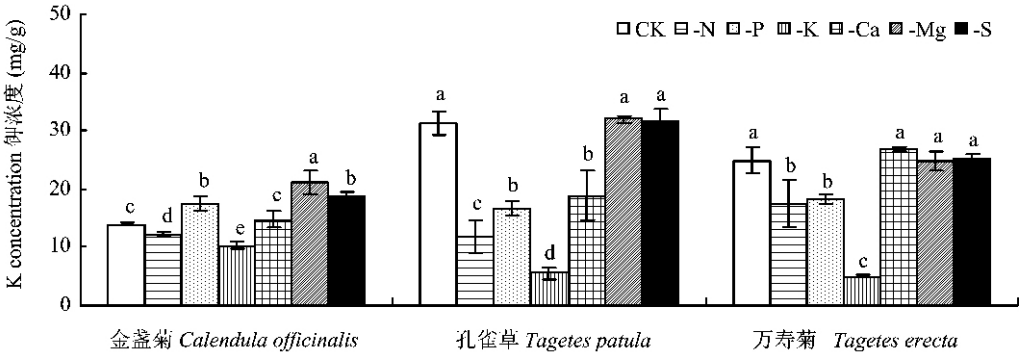

图3 缺素对菊科植株K含量的影响

Fig.3 Effects of different element deficiencies on K concentration of the three compositae plants

2.3.4　植株 Ca 含量　3 种花卉对照植株含 Ca 量为：金盏菊 > 孔雀草 > 万寿菊(图 4)。缺 Ca 处理金盏菊 Ca 含量为对照的 31.6%，孔雀草为 39.7%、万寿菊 29.9%。在缺 K 栽培时，金盏菊植株含 Ca 均低于对照，但显著高于其他处理，而孔雀草和万寿菊分别比对照增加了 41.1%、29.4%，达显著水平。金盏菊缺 N、缺 P、缺 Mg、缺 S 处理植株 Ca 与对照相比依次降低了 59.7%、49.2%、49.8%、48.7%，均达显著水平。孔雀草缺 N、缺 P 处理植株 Ca 含量显著降低了 20.4%、22.4%，缺 Mg、缺 S 处理与对照差异不大。万寿菊缺 N、缺 P、缺 Mg、缺 S 处理植株 Ca 含量差异均不大。

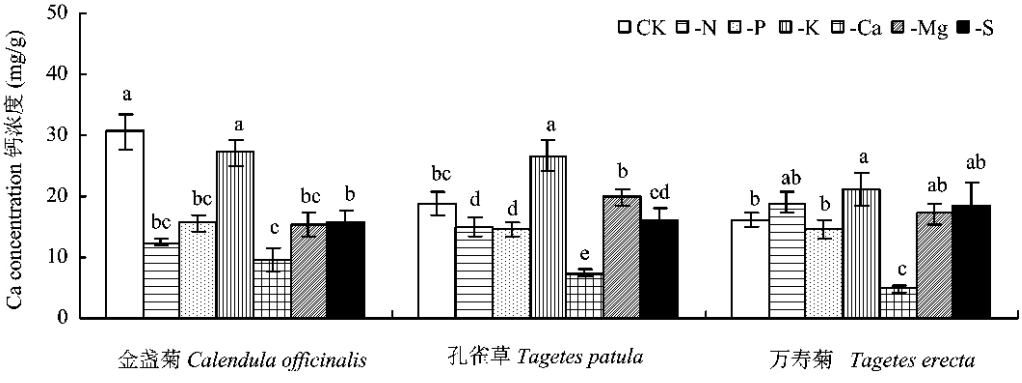

图 4　缺素对菊科植株 Ca 含量的影响

Fig.4　Effects of different element deficiencies on Ca concentration of the three compositae plants

2.3.5　植株 Mg 含量　图 5 看出，全素栽培时 3 种花卉中孔雀草植株 Mg 含量最高，金盏菊次之，万寿菊最低。缺 Mg 处理金盏菊 Mg 含量为对照的 58.8%、孔雀草为 24.7%、万寿菊为 23.3%。缺 Ca 处理的 3 种花卉植株 Mg 含量均高于其他处理，孔雀草增加了 78.3%，而万寿菊的增加量达 208.8%。缺 K 处理的植株 Mg 含量也高于对照，万寿菊显著增加了 22.2%。金盏菊缺 N、缺 P 植株 Mg 含量比对照分别降低了 22.7%、26.5%。孔雀草缺 N、缺 P 植株 Mg 含量低于对照。万寿菊缺 N、缺 S 植株 Mg 含量显著高于对照，增加值分别为 38.0%、26.5%，缺 P、缺 S 处理 Mg 含量与对照相近。

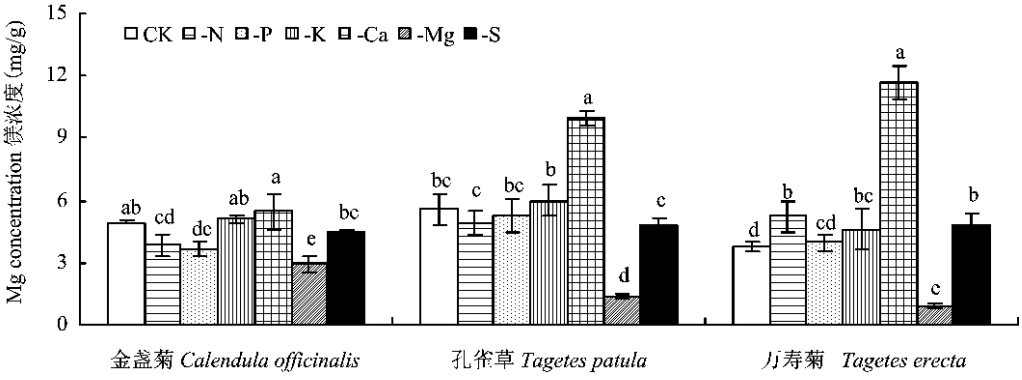

图 5　缺素对菊科植株 Mg 含量的影响

Fig.5　Effects of different element deficiencies on Mg concentration of the three compositae plants

2.3.6　植株 S 含量　从图 6 可知，在全素栽培时对 S 的需求量为：万寿菊 > 孔雀草 > 金盏菊。缺 S 处理金盏菊 S 含量为对照的 46.1%，万寿菊为 59.8%，而孔雀草只比对照减少了 9.6%。3 种花卉均在缺 N 处理时植株含 S 量最高，金盏菊比对照增加了 9.3%，孔雀草增加了 142.4%，万寿菊增加了 110.9%。金盏菊缺 P 处理植株含 S 量与对照相当，缺 K、缺 Ca、缺 Mg 显著低于对照，依次减少了 24.9%、25.2%、45.6%。孔雀草缺 P、缺 K、缺 Ca 处理显著高于对照，依次增加了 97.1%、136.0%、134.6%，

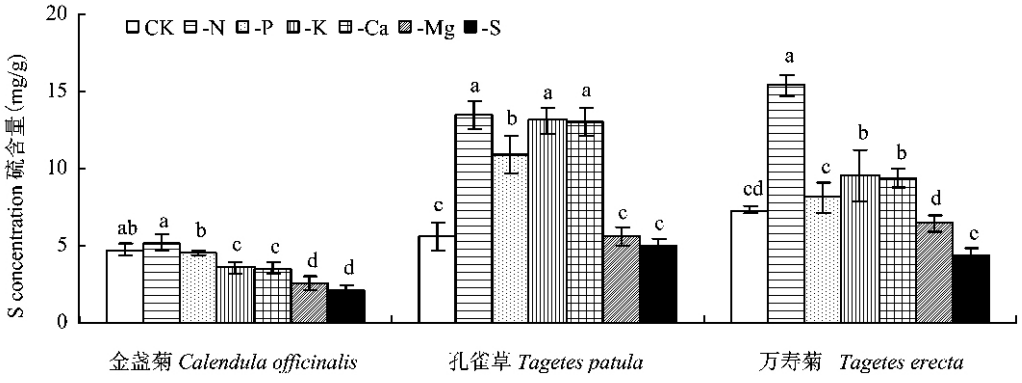

图6 缺素对菊科植株S含量的影响

Fig.6 Effects of different element deficiencies on S concentration of the three compositae plants

缺Mg处理与对照相当。万寿菊缺K、缺Ca处理显著高于对照,增加值分别为30.7%、28.2%,缺P、缺Mg与对照相近。

3 讨论

缺素症状是植物在养分缺乏或失衡情况下的外观表现,所以同科植物种类之间会有一些共性,但也会有所不同。如万寿菊在缺N情况下没有表现出老叶均匀失绿,而是出现了紫色斑点与缺P情况相近;缺P时金盏菊茎叶没有变色,而是黄化干枯,易与缺K混淆。所以根据植物缺素的经典症状判断不同花卉的缺素情况难免会有失误,有必要对花卉缺素症状进行更细致深入的研究。

花卉在缺素情况下往往表现出长势弱等症状,植株生物量减少。金盏菊、孔雀草、万寿菊各缺素处理重量最低的是缺N处理。各缺素处理3种花卉的含水量均低于对照,这可能是由于缺素植株长势弱,蒸腾减少等原因所引起。

缺N栽培时3种花卉植株含N量相对其他缺素症减幅不大,且金盏菊和万寿菊在缺K处理时含N量还高于对照,这可能是与其育苗期吸N较多以及因缺素引起生长量减少所导致的浓缩效应有关。一般而言,作物体内P和Mg之间存在极强的协助作用[5],但本试验的3种花卉缺P处理的Mg含量和缺Mg处理的P含量均没有大幅度的降低(万寿菊缺Mg处理P含量高于对照),与隋方功等[6]在水稻上的研究有所不同。由于本试验使用N源是NO_3^--N,可对$H_2PO_4^-$的吸收产生抑制作用,缺N处理植株P浓度增加较多。缺K处理也增加了P浓度,但在缺P处理时植株K浓度却极度下降(金盏菊例外),其原因有待进一步研究。因为K^+、Ca^{2+}、Mg^{2+}离子的吸收存在抑制性作用,缺Ca处理的含K量和含Mg量较高,其中万寿菊的含Mg量极高,可能到达毒害程度;缺K处理的含Ca量大幅增加,但含Mg量未见显著增加;缺Mg处理只有金盏菊的含K量显著增加,孔雀草和万寿菊植株含K量与对照差异不大。已有报道指出,许多植物能够吸收大气中的SO_2、H_2S等作为S素营养来源[7-8],本试验中3种花卉缺S处理效果不明显,植株S含量降幅也不大,这可能与此有关。不同植物利用气态S的能力不同,可推测本试验供试菊科花卉的3种吸S能力依次为:孔雀草>万寿菊>金盏菊。孔雀草和万寿菊缺N、缺P、缺K、缺Ca处理的S含量明显增加,尤以缺N处理最为显著,这虽与刘勤等[9]在烟草上植株全氮和全硫含量呈显著正相关的结果相反,但可能反映出营养元素间功能部分替代现象(如K、Na相互替代)[10],植物N素和S素的营养功能有很多相似之处[11-12],3种菊科植物中增加的S素可能与其在某种程度上部分替代N的功能有关。

参考文献:

[1] 中国科学院中国植物志编辑委员会.中国植物志—菊科[M].北京:科学出版社,1979-1999(74-80卷).
Delectis florae reipublicae popularis sinicae agendae academiae sinicae edita. Flora reipublicae popularis sinicae [M]. Beijing: Science Press, 1979-1999 (Tomus 74-80).

[2] 林绍生,黄品湖,金川,等.几种花卉植物体营养含量分析研究[J].中国林副特产,2002,5(2):31-32.
Lin S S, Huang P H, Jin C *et al*. Analysis and study on the concentration of nutrients in several ornamental plants[J]. Quart. For. Prod. Spec. China, 2002, 5(2): 31-32.

[3] 马国瑞.花卉营养失调症原色图谱[M].北京:中国农业出版社,2005.
Ma G R. Primitive colors atlases of malnutrition symptom of flowers [M]. Beijing: China Agricultural Press, 2005.

[4] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京：中国农业科技出版社，2000.
Lu R K. Analytical methods of soil and agro-chemistry[M]. Beijing: China Agricultural Scientech Press，2000.

[5] 高桥英一. 作物の要素欠乏、过剩症[M]. 东京：农山渔村文化协会，1980. 94-95.
Takahashi E. Symptom of crops under element deficiency or surplus [M]. Tokyo: Nongshanyucun Culture Association，1980. 94-95.

[6] 隋方功，于长春，刘培利. 缺素培养对夏谷幼苗吸收磷钾钙镁的影响[J]. 莱阳农学院学报，1992，9(3)：205-210.
Sui F G，Yu C C，Liu P L. Absorbability to P，K，Mg of summer rice under element deficiency[J]. J. Laiyang Agric. Coll.，1992，9(3)：205-210.

[7] Cowling D W，Jones L H P，Lockyer D R. Increased yield through correction of sulfur deficiency in ryegrass exposed to sulphur dioxide [J]. Nature，1973，243：479-480.

[8] De Kok L J，Westerman S，Stuiver C E E *et al*. Atmospheric H_2S as plant sulfur source: interaction with pedospheric sulfur nutrition—a case study with *Brassica oleracea* L[J]. Brunold C，Rennenberg H，De Kok L J *et al*（Eds.）. Sulfur nutrition and sulfur assimilation in higher plants: molecular，biochemical and physiological aspects[M]. Bern: Paul Haupt Publishers，2000. 41-55.

[9] 刘勤，赖辉比，曹志洪. 不同供硫水平下烟草硫营养及对 N、P、Cl 等元素吸收的影响[J]. 植物营养与肥料学报，2000，6(1)：63-68.
Liu Q，Lai H B，Cao Z H. Effect of sulphate rates supplied on sulphur metabolism and N，P and Cl absorption in tobacco[J]. Plant Nutr. Fert. Sci.，2000，6(1)：63-68.

[10] 姜理英，杨肖娥，石伟勇. 钠钾替代作用及对作物的生理效应[J]. 土壤通报，2001，32(1)：28-311.
Jiang L Y，Yang X E，Shi W Y. The physiology effect of replacement of potassium by sodium on crops[J]. Soil Bull.，2001，32(1)：28 -311.

[11] Saito K. Sulfur assimilatory metabolism the long and smelling road [J]. Plant Physiol.，2004，136. 2443-2450.

[12] Zhao F J，Hawkesfordt M J，McGrath S P. Sulfur assimilatory and effects on yield and quality of wheat[J]，J. Cereal Sci.，1999，30：1-17.