

VA菌根菌丝对土壤磷锌的吸收

李晓林 曹一平

(北京农业大学)

摘 要

利用隔网分室盆栽方法,将土壤分为根系吸收区和菌丝吸收区,以白三叶草为供试作物,定量测定了VA菌根菌丝对土壤磷和锌的吸收量及磷锌在植物体内的分布。结果表明,菌根的侵染率显著提高了植物磷锌含量。根外菌丝吸磷量随菌丝吸收区施磷量上升而迅速增加,但锌的吸收量变化不大,说明菌丝对磷和锌吸收之间无密切关系。

缺磷土壤上,VA菌根侵染能显著提高植物体内磷浓度,大大改善其磷营养状况,进而提高生长量^[1]。菌根促进植物吸磷的主要机理是根外菌丝伸展到根际磷亏缺区以外吸收土壤磷并通过菌丝运输给宿主植物。一些试验表明,菌根促进植物吸磷的同时,还提高了植物地上部锌的浓度,改善植物的锌营养^[2,3]。然而在这些试验中,由于试验方法的限制,未能区别由于菌根侵染所增加的磷锌养分吸收量是直接来自于菌丝的吸收,还是来自根系的吸收。要充分发挥菌根吸收磷锌养分的作用,需要了解菌丝吸收土壤磷锌养分的能力,以及磷锌吸收之间的相互关系。本文利用隔室盆栽方法,对根外菌丝吸收土壤磷锌养分的数量以及二者关系进行了研究。

一、材料和方法

(一)试验用盆 盆子由3mm厚的有机玻璃板加工制成(图1)。两片尼龙网将盆中土壤分为三部分,中室和两个相同的外室。中室装土78克,每个外室装土390g,土壤容重为1.3g/cm³。

(二)供试土壤 土壤取自西德南部C层土。Olsen—P含量为3.8mg/kg,有机质含量2.0gkg⁻¹,pH7.3(CaCl₂法),CaCO₃含量233gkg⁻¹,DTPA—Zn0.2mg/kg。土壤过2mm筛后,蒸气灭菌(121℃)两小时,杀除土著根菌。

(三)VA—菌根菌接种剂 供试菌为*Glomus mosseae* Nicolson和*Gerdemann*。预先在玉米上进行菌种繁殖,植株生长8周后收获,植物根系、土壤中的菌丝体和根际土壤的混合物作为试验的接种剂。

(四)供试植物 供试植物选为白三叶草,品种为*Grassland huia*。

(五)试验处理 试验设有5个处理,各3次重复(表1)。第1个处理中,中室和外室用0.45μm尼龙网隔开,阻止根系穿过。但菌丝可自由穿过而进入外室。前4个处理中中室土壤施磷量相同,为50mgP/kg,这一施磷水平在预备试验中证明能获得较高的菌根侵染率。这4个处理的中室土壤接种菌根菌,接种剂用量为中室土重的10%(即7.8g),将接种剂和土壤均匀混合。第5处理不接种菌根菌,中室土壤混入与上述接种处理相同质量的玉米对照接种剂

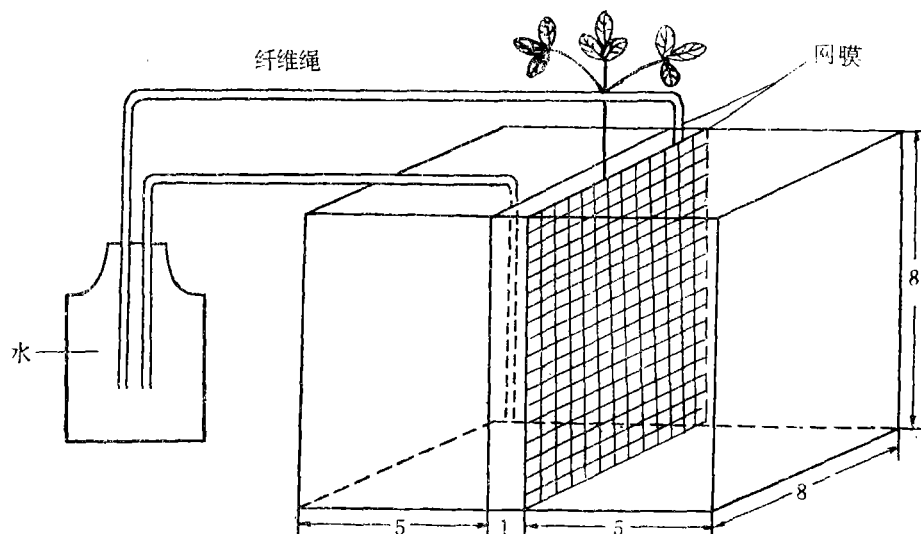


图1 三室盆栽系统示意图(单位: cm)

表 1

试 验 处 理

处 理	接种状况	网孔径 (μm)	土壤施磷水平 ($\text{mg}/\text{kg}^{-1}\text{P}$)	
			根室	外室
+M 50/50 (0.45 μm) “接种对照”	+VAM	0.45	50	50
+M 50/0 (30 μm)	+VAM	30	50	0
+M 50/20 (30 μm)	+VAM	30	50	20
+M 50/50 (30 μm)	+AM	30	50	50
-M 500/500 (30 μm) “非接种对照”	-VAM	30	500	500

(在菌种繁殖时备有一盆不含菌根菌, 其它条件相同的对照玉米植物, 作为正式试验的非菌根处理接种剂, 称为对照接种剂)。为获得该处理植物的正常生长量, 在中室及外室土壤中施用了 $500\text{mgP}/\text{kg}$, 接种处理中外室土壤施磷水平分别为 0, 20 和 $50\text{mgP}/\text{kg}$ [$\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$]。所有处理各室土壤施 N, K, Mg 水平相同, 分别为 $200\text{mgN}/\text{kg}$ (NH_4NO_3), $200\text{mgK}/\text{kg}$ (K_2SO_4) 和 $100\text{mgMg}/\text{kg}$ (MgSO_4)。锌只施于外室土壤, 施用量为 $20\text{mgZn}/\text{kg}$ (ZnSO_4)。所有肥料都以溶液形式施入土壤, 施肥后的土壤过两遍 3mm 筛, 使肥料和土壤混合均匀。

(六)装盒和播种 先将施好肥料的外室土壤按 $1.3\text{g}/\text{cm}^3$ 容量装入外室中, 将接网处土面刮平, 用胶水将尼龙网或膜粘到外室有机玻璃框上。将两个装好土壤的外室用 1cm 宽的有机玻璃板粘结在一起, 形成两网(膜)之间的中室。中室内填入土壤达 1cm 高后, 将尼龙绳放置中室内, 继续加土至规定的土重。在每个中室内播种约 30 粒发芽的种子, 上面盖 5mm 厚的一层细石英砂, 减少水分蒸发。

(七)浇水 植物水分的供应通过纤维绳进行。根据盆中失水量, 将所缺水分(浇至田间持水量的 80%)定量加入贮水塑料瓶中(图1), 通过纤维绳将瓶中的水分吸入土壤中, 维持盆中土壤的适宜湿度。

(八)生长条件 试验在人工气候室中进行。昼夜温度为22/18℃, 光照时间16小时, 光照强度480 μ E/m²·sec, 相对湿度70—75%。

(九)收获 树物生长6周后, 分别收获地上和地下部分。根系先用自来水冲洗掉土壤, 剪成约1cm长的根段, 在水中充分混匀, 反复冲洗, 直至洗根水完全清澈为止。取出混匀的根系, 用吸水纸吸除水分, 称取鲜重。从中称取两份1.00g根样, 用酸性品红染色——方格交叉法测定菌根侵染率和根系长度。其余部分和地上部一起烘干、磨细后分析磷锌含量。

植物收获后, 将外室土壤按5mm间距用刀切取土样, 和中室土样一起以琼脂薄膜法^[4]测定菌丝长度。

二、试验结果

(一)菌根侵染率和植物生长

未接种处理[-M500/500(300 μ m)]没有菌根的侵染。其余4个接种处理根系侵染率约为50%, 处理间无显著差异。处理+50/50(0.45 μ m)以下称为“菌根对照”, 其中菌丝没有穿过0.45 μ m尼龙膜。该处理的生长量最低(表2), 并与处理+M50/0(30 μ m)间无显著差异。外室

表2 外室土壤施磷水平和外室的菌丝生长对菌根侵染率植物干重和根系总长度的影响

处 理	侵 染 率 (%)	干 物 重 (g)		根 长 (m)
		地上部	根 系	
+M 50/50 (0.45 μ m)	50.7a	1.75a	0.67a	99a
+M 50/0 (30 μ m)	51.4a	2.22h	0.75a	90a
+M 50/20 (30 μ m)	49.4a	3.32c	1.28b	134b
+M 50/50 (30 μ m)	53.2a	4.07d	1.30b	146b
-M 500/500 (30 μ m)	0	3.60cd	1.27b	146b

有菌根菌丝生长的3个处理(以下称“菌根处理”)的地上部干物重随外室土壤施磷水平的提高而迅速增加; 不接种菌根处理(以下称“非菌根对照”)与外室土壤施用50mgP/kg的菌根植物无显著差异, 是所期望的生长正常的对照处理。

与地上部生长量不同, 植物根干重和根系总长度可分为两组: 菌根对照[+50/50(0.45 μ m)]和外室土壤不施磷的菌根处理[+50/0(30 μ m)]为一组; 其余三个处理为一组。每一组内的植物具有大致相同的养分吸收器官。

(二)植株磷锌浓度

植株地上部和根本磷浓度见图2, 地上部和根系干重、磷浓度变化趋势相同。“菌根对照”处理最低, 随着外室土壤施磷水平的提高, 菌根植物体内磷浓度几乎按比例增加, 供应400mg P/kg的“非菌根对照”处理仍未达到+M50/50(30 μ m)处理的磷浓度水平。植株锌浓度变化情况(图3)与磷不同。对照处理锌浓度最低, 菌根侵染体地上部锌浓度增加一倍多, 施磷不同菌根植物之间无显著差异。而菌根植物根干重、锌浓度则随外室施磷水平的提高显著降低, 这与磷浓度变化恰好相反。

(三)植物吸磷量和菌丝贡献

植物地上部和根系吸收量绘于图4。“菌根对照”植株吸磷量最低。菌根植物吸磷量随外室施磷水平的提高而迅速上升。各菌根处理的吸磷量与“菌根对照”之差, 认为是菌丝从外室土壤所吸收的磷量, 称之为“菌丝贡献”, 它随外室施磷水平的提高而上升。例如施磷水平从

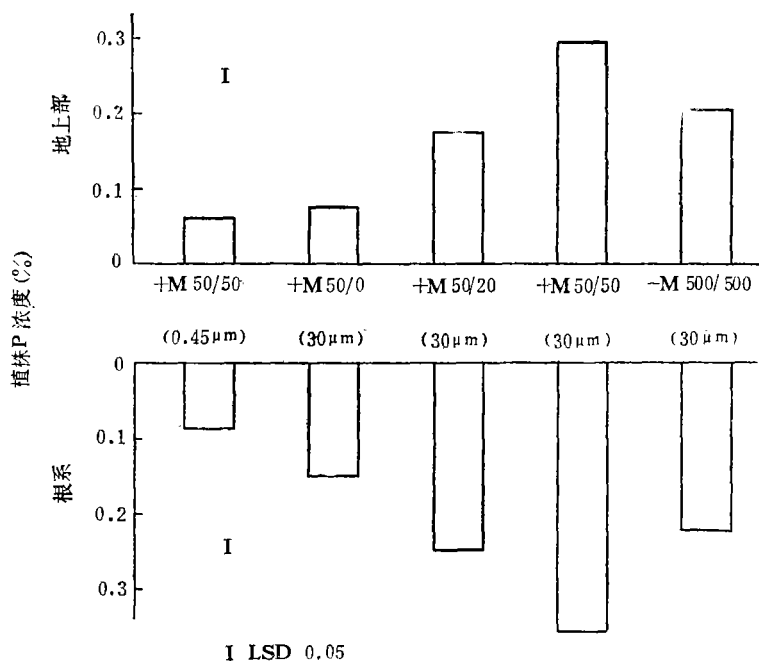


图2 外室施磷水平和菌丝进入外室对三叶草植株磷浓度的影响

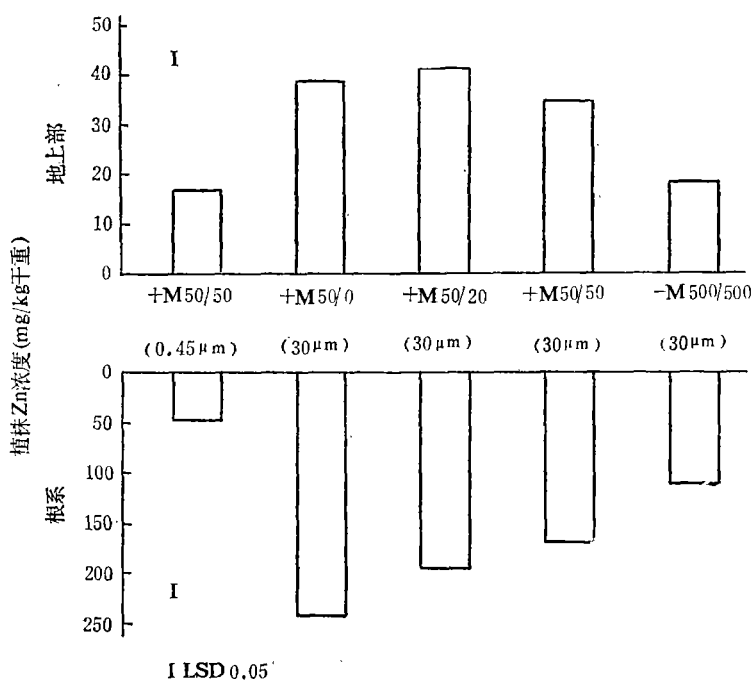


图3 施磷水平和菌丝吸收对三叶草植株锌浓度的影响

0增加到50mg/kg,菌丝吸磷量占地上部总量的比例从36.3%上升到91.4%。

(四)植物吸锌量和菌丝贡献

植物锌吸收量和菌丝吸收量结果绘于图5。处理+50/0(30 μm)与“菌根对照”吸锌量的

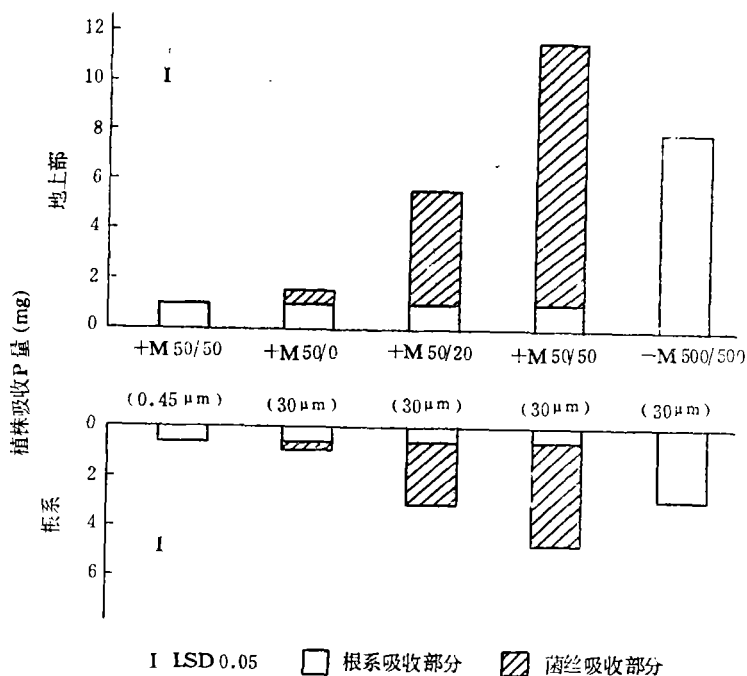


图4 植株吸磷量和菌丝贡献

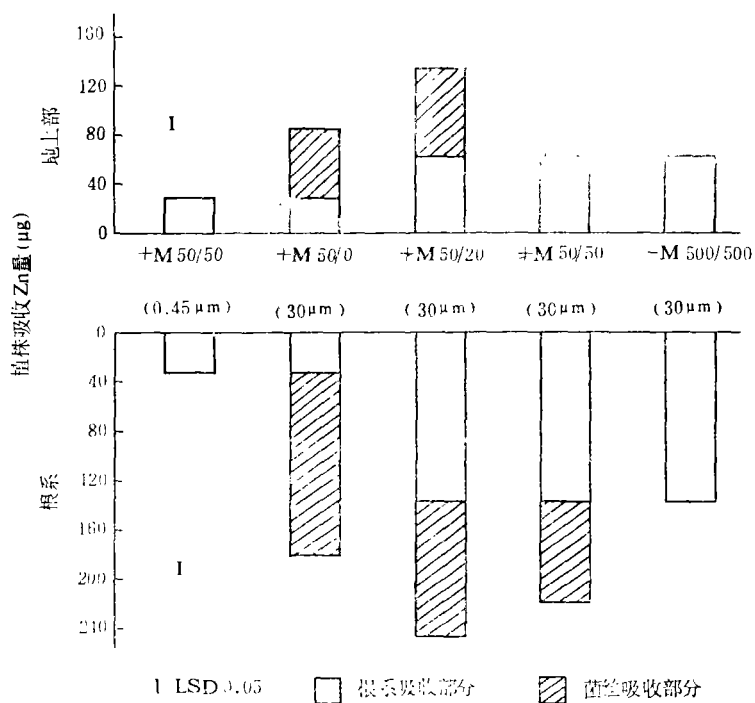


图5 植株吸锌量和菌丝贡献

差值，作为该菌根处理中菌丝的吸锌量，因为这两个处理的养分吸收器官相当。基于同种原因，“非菌根对照”作为其它两个菌根处理中计算菌丝吸锌量的基数(根系吸收部分)。结果表

表3 菌丝吸收磷锌总量及其比例

处 理	菌丝吸收量 (μmol)		
	P	Zn	P/Zn
+M 50/0 (30 μm)	27	3.14	8.6
+M 50/20 (30 μm)	226	2.77	81.6
+M 50/50 (30 μm)	465	2.44	190.6

明,地上部吸锌总量中菌丝吸锌量随外室施磷水平的提高而略有增加,但根的吸锌量却出现相反的结果。外室不施磷,菌丝的吸磷量最低而吸锌量反而最高,占根部吸锌总量的81.7%。

(五)菌丝吸磷量与吸锌量的关系

菌丝吸收磷锌总量及其比例列于表3。

结果表明,随外室土壤施磷水平的提高,菌丝吸磷总量迅速增加,但菌丝吸锌总量变化不大。说明菌丝对磷的吸收和运输与锌没有密切关系。

三、讨 论

(一)计算菌丝养分吸收贡献量的方法的可行性

利用网膜将盆子分为根系吸收区(中室)和菌丝吸收区(外室)使人们能够分别测定菌丝从外室土壤中吸收养分的量。在计算外室菌丝对植物磷吸收量的贡献时,可在总吸磷量中扣除“菌根对照”处理中植物吸磷量的基数(图4)。这种计算方法对于测定菌丝自外室土壤的吸磷量是较为客观的。因为“菌根对照”根系菌根侵染率与其它菌根处理相同,即:菌根侵染对根系生理方面的影响是相同的,具有根系生理方面的可比性;磷在土壤中的移动性很弱,根系一般只能吸收根围几毫米以内土壤中的磷^[5],磷从外室向内室的质流和扩散量是微小的;而且中室的根系密度足以使中室土壤磷水平降到最低值,限制植物吸磷量的因素是磷的水平,而不是吸收器官的大小和吸收能力,因此有菌丝进入外室的处理比无菌丝进入外室(“菌根对照”)的处理多吸收的那部分磷必然绝大部分来自外室菌丝的直接吸收和运输作用。因此外室中菌丝对磷吸收贡献量的计算方法是客观可行的。

对于菌丝对锌的吸收的贡献量,则根据根系的生长量划分为两组分别计算。供试土壤的有效锌含量较低,而且中室未施用锌肥料,外室中的锌和磷一样不可能大量移动到中室。植物体内来自外室的那部分锌,必然大部分由菌丝吸收作用所致。但在这一试验中,限制植物生长的因素主要是磷,因而植物对中室土壤锌的吸收量还受吸收器官的大小及其吸收能力和植物的需要量所影响,因此,依据根系生长量将菌根处理分为两组,分别计算也是较为合理的。

(二)菌丝对磷的吸收和运输与锌之间的关系

多数试验报道中,菌根对植物生长的促进作用,主要是宿主植物的磷得到改善所致。本试验中菌丝进入外室土壤显著提高了植物体磷浓度。菌丝的吸磷量随土壤施磷水平的提高而增加,外室施磷量为50mg/kg时,植物吸磷总量中90%来自于菌丝的吸收,充分显示了菌丝的直接吸收和运输作用对植物磷营养的重要作用。菌根的侵染还显著提高了植物体内锌浓度及其吸收量,分析其主要原因,仍是菌丝的吸收与运输作用。在缺锌土壤上菌丝的这种作用对于保证宿主植物的锌营养具有重要意义^[6]。磷在菌丝中主要以聚磷酸盐大分子的形式向植物根细胞运输。试验证明^[7,8],钙、锰和铁结合在聚磷酸盐的分子上。锌是否也结合在上面与磷一起运输,尚缺乏试验证据。如果如此,菌丝对锌的运输量与磷的运输量应该存在一定的正相关关系。本试验的结果并未支持这种假说。菌丝吸收并运输到植物体内锌的总量并不随菌丝吸磷量的增加而上升,磷/锌比例随外室施磷水平的提高而迅速上升,表明在本试验条件下,

(下转第270页)

表 3

改进施肥法对水稻产量的影响

处 理	小区平均 (千克)	折亩产 (千克)	差异比较 (千克/亩)	显 著 性		比CK +、- (千克/亩) (%)	
				0.05	0.01		
基肥 小区 试验	改进 2 法	10.62	423.10	a	A	+ 67.50	+ 18.95
	改进 1 法	35.95	317.48	b	B	+ 18.85	+ 5.31
	习 惯 法	31.18	355.60	b	B	—	—
	不 施 肥	21.04	219.14	c	C	-136.46**	- 33.37
基肥 + 追肥 小区 试验	改进 2 法	31.73	384.55	a	A	+ 37.19**	+ 10.71
	改进 1 法	30.49	369.52	a	AB	+ 22.16**	+ 6.38
	习 惯 法	23.66	347.36	b	B	—	—
	不 施 肥	21.39	259.21	c	C	- 88.15	- 25.38

表 4 改进施肥法对氮肥利用率(%)的影响

基肥小区试验			基肥 + 追肥小区试验		
习惯法	改进 1 法	改进 2 法	习惯法	改进 1 法	改进 2 法
36.3	45.5	60.2	30.3	35.3	55.2

区试验中,前者可使水稻增产67.5千克/亩,增产率为19%,达到极显著水准;而改进1法仅增产18.9千克/亩,增产率为5.3%未达显著水准。但在基肥+追肥的条件下,改进2法较习惯法增产37.2千克/亩,增产率为10.7%,达极显著水准;改进1法则比习惯

法增产22.2千克/亩,增产率为6.4%,亦达显著水准。

(三)改进的施肥法可以提高氮肥利用率 改进法控制了氮的损失,从而提高了氮肥利用率(表4)。

上述结果表明,改进的施肥方法用于红壤稻田亦可取得良好的增产效果。

参 考 文 献

[1] 朱兆良等,黄淮海地区石灰性稻田土壤上不同混施方法下氮肥的去向和增产效果,土壤,20(3):121—125, 1988。

(上接第260页)

菌丝对锌的吸收和运输与磷的吸收和运输没有密切的关系。锌在菌丝内运输机理需要进一步研究。

菌丝所吸收的锌在植物体内的分布与植物磷营养状况有关。外室不施磷肥时,植物体内锌大部分滞留在根中,锌从根部向地上部的运输受到抑制,随着施磷水平的增高,菌丝吸磷量增加,宿主植物磷营养得到改善,锌向地上部的运输量也相应增大。

参 考 文 献

- [1] Krikun, J., J. H. Haas, J. Dodd and R. Kinsbursky, Plant and Soil, 122, 213—217, 1990.
- [2] Swaminathan, K., New phytol, 82, 481—487, 1982.
- [3] Kothari, S. K., H. Marschner and V. Romheld, Plant and Soil (in press), 1991.
- [4] Baath, E. and B. Soderstrom, Soil Biology and Biochemistry, 12, 385—387, 1980.
- [5] Jungk, A. and N. Glaassen, Z. Pflanzenernahr. Bodenk, 152, 151—157, 1989.
- [6] Gilmore, A. E., J. Am. Soc. Hort. Sci., 96, 35—38, 1971.
- [7] Cox, G., K. J. Moran., F. Sanders and C. Nochlods, New phytol, 84, 649—659, 1980.
- [8] Orlovien, D. A., A. E. Schford and G. C. Cox, Austr. J. Plant physiol, 16, 107—115, 1989.