

施肥对七叶树苗木生长的影响

贾永正¹, 杨素素¹, 喻方圆^{2*}, 胡永清¹, 尤巧红¹

(1. 南京林业大学实验室与基地建设管理处, 江苏南京 210037; 2. 南方现代林业协同创新中心, 南京林业大学林学院, 江苏南京 210037)

摘要 [目的]探讨七叶树苗木生长所需的最佳施肥种类及最佳施肥量。[方法]采用双因素随机区组试验设计,对七叶树苗期进行复合肥、氮肥2个肥料种类,5个施肥水平[0、2、4、6、8 g/(株·次)]处理,研究施肥对七叶树苗木生长的影响。[结果]苗高、地径增量在6 g/(株·次)复合肥水平处理下达到最大值,分别为20.8 cm和2.49 mm,是CK的4.00和3.56倍,不同氮肥水平处理的苗高、地径增量在同一水平下低于复合肥处理;高径比在6 g/(株·次)复合肥水平下最好;地上、地下鲜重和地上、地下干重在6 g/(株·次)复合肥水平下达到最大值,分别为16.13、23.07、7.09和8.43 g,分别是CK的2.44倍、1.58倍、1.88倍和1.67倍;不同氮肥水平处理的七叶树苗木生物量积累在同一水平下低于复合肥处理;总根长、根表面积、根体积和根平均直径在8 g/(株·次)氮肥水平下达到最大值,分别为15.97 m、1.27 dm²、8.87 cm³和2.64 mm,分别是CK的1.99倍、1.93倍、1.74倍和2.24倍,施肥对根系发育的影响基本表现为不同氮肥水平处理好于复合肥处理;比根长在8 g/(株·次)氮肥水平下达到最大值2.23 m/g,是CK的1.40倍,且不同氮肥水平处理优于复合肥。[结论]在一定范围内,随着施肥量的增加,七叶树苗木生长有显著提高,但施肥过量,则生长反而降低或提高不显著。复合肥对七叶树幼苗各指标的影响整体优于氮肥,基本在6 g/(株·次)复合肥水平处理下最佳,而合理增施氮肥有利于根系发育。

关键词 七叶树;施肥;生长指标

中图分类号 S723.7 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2020)03-0116-06

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2020.03.034



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Effects of Fertilization on Growth of *Aesculus chinensis* Seedlings

JIA Yong-zheng¹, YANG Su-su¹, YU Fang-yuan^{2*} et al (1. The Management Office of the Lab and Base Construction, Nanjing Forestry University, Nanjing, Jiangsu 210037; 2. Co-Innovation Center of the Sustainable Forestry in Southern China, College of Forestry, Nanjing Forestry University, Nanjing, Jiangsu 210037)

Abstract [Objective] To explore the best fertilization type and the best fertilization amount for the growth of *Aesculus chinensis* seedlings. [Method] Double-factor randomized block experiment was conducted. Compound fertilizer and nitrogen fertilizer were used with five levels [0, 2, 4, 6, 8 g/(plant·time)] to study the effects of fertilization on growth of *A. chinensis* seedlings. [Result] The increment of seedling height and ground diameter reached the maximum, which were 20.8 cm and 2.49 mm, 4.00 and 3.56 times of CK, respectively, when the application amount of compound fertilizer was 6 g/(plant·time). The increment of height and ground diameter with application of nitrogen fertilizers were lower than that with application of compound fertilizers in all levels. The ratio of height to diameter was the best when 6 g/(plant·time) compound fertilizer was applied. The fresh and dry weight of shoots and roots reached the maximum with the application of 6 g/(plant·time) compound fertilizer, they were 16.13, 23.07, 7.09 and 8.43 g respectively, and 2.44, 1.58, 1.88 and 1.67 times of CK, respectively. The biomass accumulation of *A. chinensis* seedlings treated with different nitrogen levels was lower than that of compound fertilizer treatment at the same level. The total root length, root surface area, root volume and average root diameter reached the maximum at 8 g/(plant·time) nitrogen fertilizer level, which were 15.97 m, 1.27 dm², 8.87 cm³ and 2.64 mm, respectively, which were 1.99, 1.93, 1.74 and 2.24 times of CK. Concerning the effects of fertilizer application on root development, we found that the nitrogen fertilizer was basically better than compound fertilizer. Root length reached the maximum value of 2.23 m/g, when amount of nitrogen was applied as 8 g/(plant·time), which was 1.40 times of CK. The treatments of nitrogen fertilizer in different levels were all better than that of compound fertilizer. [Conclusion] With the application of two kinds of fertilizers in a certain concentration range on the *A. chinensis* seedlings, the growth of *A. chinensis* seedlings significantly increased along with the increase of fertilizer amount, and the excessive fertilization application would lead to a decrease or an invariant status of growth indexes. Effect of compound fertilizer on growth indexes of *A. chinensis* seedlings was better than nitrogen fertilizer, the treatment of 6 g/(plant·time) compound fertilizer was the best, and a reasonable application of nitrogen fertilizer would be beneficial for the root growth of *A. chinensis* seedlings.

Key words *Aesculus chinensis*; Fertilization; Growth index

七叶树(*Aesculus chinensis*)为七叶树科七叶树属的落叶乔木,别名天师栗、娑罗树等,其具有深根性,通常高达25 m,寿命长,种子可食用,药用,树形优美,但其不耐移植,萌芽力不强,生长缓慢。原产于我国,生于海拔500~1500 m的山谷杂木林中,现主要分布于西北、华北及长江下游的低山区。七叶树是著名的园林观赏树种,在法、德等国家的街道和庭园中种植较多,通常列植或孤植或配植于路边或公共建筑周

边,丛植于草坪或山坡。南京明孝陵长有七叶树古木,大约650年的树龄,树冠开阔,叶大荫浓,白花绚烂,是作庭荫树及行道树的极佳树种^[1],是世界著名的四大行道树(七叶树、悬铃木、榆树、椴树)之一^[2]。

七叶树不仅有极高的园林观赏价值,还有药用、食用和木材加工等多种价值^[3]。七叶树种子干物质中含淀粉(36.1%)、脂肪(35.0%)、粗纤维(14.7%)和粗蛋白(12.0%)等成分。树皮及根内含有碱,可制作肥皂;木材黄白色,质地轻,可用来雕刻、造纸、制作工艺品、制作家具和造纸等^[4];嫩叶可以食用或制茶叶,叶片中含单宁等物质,可作黑色染料;种子脱涩后可以食用,干燥成熟的种子也是一种中药材,名“娑罗子”,入药后,有舒心、安神等功效,故又有“开心果”之称^[5]。娑罗子以野生为主,由于近些年,国内外对七叶树的

基金项目 江苏高校优势学科建设工程资助项目(PAPD);江苏省农业三项工程“苦楝优良耐盐品种选育及标准化快繁技术示范与推广”项目(lysx[2009]45)。

作者简介 贾永正(1967—),男,甘肃渭源人,工程师,农推硕士,从事林业生产经营研究。*通信作者,教授,博士,博士生导师,从事林木种苗教学和种子检验等研究。

收稿日期 2019-07-24

研究多集中于药用、细胞分子等方面,对于改善其苗木质量则少有研究,所以随着人们对医学认识的不断加深,对七叶树药用价值的逐渐了解,该资源遭到了极大的破坏^[6]。目前亟需大力培育七叶树优质苗木,提高种植技术水平,扩大种植规模,为满足各方面需求提供资源保障。

由于苗木质量是影响造林成活率的关键因素,因此其在林业领域一直是众多学者研究的热点^[7]。而苗木形态以及养分含量是评价苗木质量的重要指标,由于植物自身的遗传特性不同,当土壤养分含量不能满足植物生长需要时,为了改善苗木质量,提高竞争力,提高苗木的造林成活率,人工合理施肥是很有必要的^[8]。该研究采用不同施肥量、施肥种类对七叶树幼苗进行梯度施肥,寻求七叶树幼苗期的最佳施肥量和施肥种类,提高肥料利用率,为探讨七叶树苗木高效培育提供理论和实践依据。

1 材料与与方法

1.1 试验地概况 试验在南京林业大学下蜀林场基地开展,该林场位于江苏省句容县境内,地理位置为 119°14'E, 31°59'N,属于北亚热带季风气候,干湿寒暑四季分明,光照充足,水热资源丰富,具有发展林业生产的良好条件^[9]。试验地土壤基本理化性质如下:土壤容重 1.05 g/cm³,土壤孔隙度 64.85%,土壤饱和含水量 30.21%,土壤全氮含量 1.34 mg/g,速效磷含量 0.25 mg/g,速效钾含量 0.63 mg/g。

2015 年 8 月初—9 月初进行施肥试验。

1.2 材料 材料为南京林业大学下蜀林场苗圃地中的七叶树苗木,2015 年 3 月播种,苗木生长期间进行常规的田间管理,8 月初开始施肥试验。施肥种类包括复合肥和氮肥,复合肥养分 N、P₂O₅、K₂O 含量分别为 19%、7%、14%;氮肥为尿素,总氮≥46.4%。

1.3 研究方法

1.3.1 施肥方法。试验地环境和土壤等条件保持一致,采用双因素随机区组试验方法对七叶树苗木进行 2 个肥料种类水平、5 个施肥量水平处理,即对七叶树幼苗分别施复合肥(F)和氮肥(N),以不施肥为空白对照(CK),每种肥料设置 4 种施肥量(表 1),皆为单次施肥量,每个水平重复 3 次,每重复 30 株苗。每隔 15 d 施 1 次,共施 3 次,施肥时间分别为 8 月 2 日、8 月 17 日、9 月 3 日。具体施肥方式是以苗干为中心,离苗干 10 cm 处挖穴施肥,然后覆土。期间进行常规的田间管理工作,10 月中旬到 12 月下旬进行各项指标测定。

1.3.2 生长指标测定。将每个处理随机抽取 20 株,3 个重复共 60 株,进行苗木苗高、地径的测定。8 月初,施肥前第 1 次测量其苗高和地径,10 月中旬,施肥后苗木进入休眠期时,第 2 次测量苗高和地径。使用卷尺测量苗高(主干高度),精度为 0.1 cm;使用游标卡尺测量地径,精度为 0.01 mm,在距离地表 2 cm 处进行 2 个方向的测量,求其平均值;计算施肥前后的高径比。

10 月中旬,对七叶树苗木进行破坏性取样。每个处理随机抽取 5 株,3 个重复共 15 株,用枝剪从根颈处将整株苗木分根、茎两部分,放在尼龙网筛上用水冲洗根部的泥土,为防

止脱落的根系被水冲走,冲洗时在根系下面放置 100 目筛,用流水缓缓冲洗干净,获得整株根系,再用蒸馏水冲洗后,迅速用吸水纸吸干根系上面的水分,分别用千分之一的电子天平称其茎、根系的鲜重。然后取新鲜根系,用 LA-S 型根系图像分析系统测得整株根系的总根长、根平均直径、根系表面积、根体积。将整株根系和茎干装入信封,然后放入烘干箱,进行 105 °C 杀青 20 min,再将温度调为 70 °C,根系和茎干烘至恒重后,迅速用电子天平称其干物质量,精度为 0.001 g。主要生长指标计算公式如下:

高径比 = 苗高/地径;

地上生物量 = 茎生物量;

总生物量 = 茎生物量 + 根生物量;

比根长 = 根长/根生物量。

表 1 各处理施肥量

Table 1 Fertilizing amount of each treatment

序号 No.	施肥种类 Fertilizer type	施肥量 Fertilizing amount g/(株·次)
1	CK	0
2	F-2	2
3	F-4	4
4	F-6	6
5	F-8	8
6	N-2	2
7	N-4	4
8	N-6	6
9	N-8	8

1.4 数据处理 使用 Excel 2007 进行数据整理与统计分析,并用 SPSS 23 进行方差分析和 0.01 水平的 Duncan's 多重比较,绘图部分使用 SigmaPlot 12.5 进行。

2 结果与分析

2.1 施肥对七叶树苗木苗高、地径的影响 由表 2 可知,各处理组苗高增量均高于对照组(CK)苗高增量,不同复合肥水平处理下,七叶树苗木苗高增量随复合肥施入量的增加呈先增加后降低的趋势,处理 F-6 的苗高增量达到最大值 20.8 cm,是 CK 的 4.00 倍,继续增加复合肥施入量,处理 F-8 苗高增量降低,说明复合肥的大量施入对苗木生长不利;不同氮肥水平处理下,苗高增量与复合肥处理结果相一致,处理 N-6 的苗高增量达到最大值 16.3 cm,是 CK 的 3.13 倍,继续增加氮肥施入量,处理 N-8 苗高增量降低。由以上可知,一定范围内,施肥可以促进七叶树苗木的生长,不同肥料的最佳施肥量皆为 6 g/(株·次),且复合肥对苗高的影响优于氮肥,在最佳施肥水平时,复合肥对苗高的影响高于氮肥。多重对比结果表明,各处理水平下苗高生长量与 CK 差异显著;除 F-2 与 N-2 处理间差异不显著外,同等施肥量、不同肥料种类条件下,各处理间苗高生长差异极显著。

由表 2 可知,各处理组地径增量均高于 CK 增量,不同复合肥水平处理下,七叶树苗木地径增量随复合肥施入量的增加呈先增加后降低的趋势,处理 F-6 的地径增量达到最大值

2.49 mm,是CK的3.56倍,继续增加复合肥施入量,F-8处理的地径增量降低,说明复合肥的大量施入对苗木地径生长不利;不同氮素处理水平下,地径增量与复合肥水平处理的结果出现相同的趋势,处理N-6的地径增量达到最大值1.98 mm,是CK的2.83倍,继续增加氮肥施入量,处理N-8地径增量降低。由此可知,施肥可以促进七叶树的生长,各最佳施肥量为6 g/(株·次),且复合肥对地径的影响优于氮肥。多重对比结果表明,各处理水平下,地径生长量与CK差异极显著,除F-2与N-2处理差异不显著外,等量复合肥和氮肥处理间地径生长差异极显著。方差分析表明,肥料种类和施肥量对苗高、地径影响极显著;另外肥料和施肥量对苗高、地径的交互效应也是极显著的,因此施肥对苗高、地径的促进作用极显著。

表2 不同施肥水平对苗高、地径生长量的影响

Table 2 Effects of different fertilizer application on the growth of height and ground diameter

序号 Code	处理 Treatment	苗高生长量 Growth of height/cm	地径生长量 Growth of ground diameter/mm
1	CK	5.2±0.2 G	0.70±0.02 G
2	F-2	8.2±0.8 F	1.38±0.03 F
3	F-4	13.0±0.2 E	2.12±0.06 C
4	F-6	20.8±0.9 A	2.49±0.02 A
5	F-8	19.7±0.5 B	2.34±0.10 B
6	N-2	7.9±0.1 F	1.30±0.04 F
7	N-4	14.5±0.6 D	1.75±0.05 E
8	N-6	16.3±0.2 C	1.98±0.05 D
9	N-8	15.7±0.2 C	1.78±0.04 E

注:同列数据后大写字母不同表示差异显著($P<0.05$)

Note: Different capital letters within the same column mean significant differences ($P<0.05$)

2.2 施肥对七叶树苗木高径比的影响 由表3可知,对照组高径比降低了2.32,不同复合肥水平处理,施肥后的高径比相对施肥前降低了3.53、5.43、6.29和5.11,F-6处理降低最大;不同氮肥水平处理,高径比均比施肥前降低了4.40、1.08、8.58和0.66,N-6处理降低最大。由此可以推测,七叶树苗木生长由高生长向径生长转移,地径生长优势逐渐高于苗高,且施肥可以提高地径生长速度,从而降低高径比。结合F-6、N-6处理的七叶树苗木苗高、地径的生长最优,所以,F-6处理的苗木高径比降低是在合理范围内,说明在6 g/(株·次)复合肥处理下,苗木茎干粗壮坚韧,抗病、抗虫及抗机械损伤的能力强。由高径比施肥前后的差值比较分析,复合肥处理对高径比的影响优于氮肥。

2.3 施肥对七叶树苗木生物量分配的影响 由图1可知,复合肥对七叶树苗木生物量的积累明显优于氮肥,且2种肥料最佳施肥量皆为6 g/(株·次)。不同复合肥水平处理下,苗木生物量积累随复合肥施入量的增加呈先增加后降低的趋势,地上、地下鲜重和地上、地下干重在F-6处理时取得最大值,分别为16.13、23.07、7.09和8.43 g,分别是CK的2.44倍、1.58倍、1.88倍和1.67倍。不同氮肥水平处理下,生物量积累随氮肥施入量的增加呈先增加后降低的趋势,地上、

地下鲜重和地上、地下干重在N-6处理时取得最大值,分别为14.99、21.90、6.38和7.44 g,分别是CK的2.27倍、1.50倍、1.69倍和1.47倍。由以上生物量变化趋势可知,施肥量超过一定范围时,对七叶树苗木生物量的积累不利。多重对比结果表明,除2 g/(株·次)氮肥水平处理的地下鲜、干重与CK差异性不显著外,其他各处理下的地上、地下鲜干重与CK相比差异显著。

表3 不同施肥水平对高径比的影响

Table 3 Effects of different fertilizer application on the ratio of height to diameter

处理 Treatment	施肥前 Before fertilization	施肥后 After fertilization	差值 D-value
CK	32.52	30.20	2.32
F-2	31.04	27.51	3.53
F-4	32.91	27.48	5.43
F-6	32.16	25.87	6.29
F-8	32.19	27.08	5.11
N-2	35.66	31.26	4.40
N-4	26.52	25.44	1.08
N-6	32.62	24.04	8.58
N-8	26.93	26.27	0.66

2.4 施肥对七叶树苗木根系形态的影响 由图2可知,不同复合肥水平处理下,七叶树苗木总根长、根表面积、根体积和根平均直径等各根系形态指标随复合肥施入量的增加呈先增加后降低的趋势,F-6处理的总根长、根表面积、根体积和根平均直径均达到最大值,分别为16.9 m、1.2 dm²、7.38 cm³和1.87 mm,分别是CK的2.11倍、1.82倍、1.45倍和1.60倍;不同氮肥水平处理的七叶树各根系形态指标随氮肥施入量的增加呈递增趋势,N-8处理的各根系指标均达到最大值,分别为15.97 m、1.27 dm²、8.87 cm³和2.64 mm,分别是CK的1.99倍、1.93倍、1.74倍和2.24倍。由此可以推测,施肥可以促进半年生七叶树根系生长发育,各根系指标的最佳施肥量皆为复合肥6 g/(株·次)和氮肥8 g/(株·次),且除总根长外,对其余各指标的影响均表现为氮肥大于复合肥。处理N-8对根系生长的影响好于N-6处理,两处理水平整体差异不显著,综合考虑经济成本等因素,6 g/(株·次)氮肥为最佳施肥量。多重对比结果表明,整体在0~4 g/(株·次)处理水平下根系指标增长差异显著,在6~8 g/(株·次)处理水平下根系指标增长差异不显著。

2.5 施肥对七叶树苗木比根长的影响 各处理组比根长均高于CK。不同复合肥水平处理下,随复合肥施入量的增加,七叶树苗木比根长整体增加趋势不明显,处理F-6的比根长达到最大值2.01 m/g,是CK(1.59 m/g)的1.26倍;不同氮肥处理下,比根长整体呈增加趋势,N-8处理达到最大值2.23 m/g,是CK的1.40倍。比较分析,施肥对比根长的影响整体表现为氮肥大于复合肥,氮肥对细根生长的促进可能高于对地下生物量积累的促进作用。通过多重对比,不同复合肥水平处理下,比根长差异不显著;不同氮肥水平处理下,比根长差异显著。所以氮肥有利于根系的生长发育,特别是须根的发,提高根系生理活性,更好促进苗木吸收养分及水分。

方差分析可知,肥料种类对比根长的影响不显著,施肥量对比根长的影响极显著,另外肥料种类和施肥量对比根长

的交互效应极显著。综上所述,施肥对比根长的促进作用极显著。

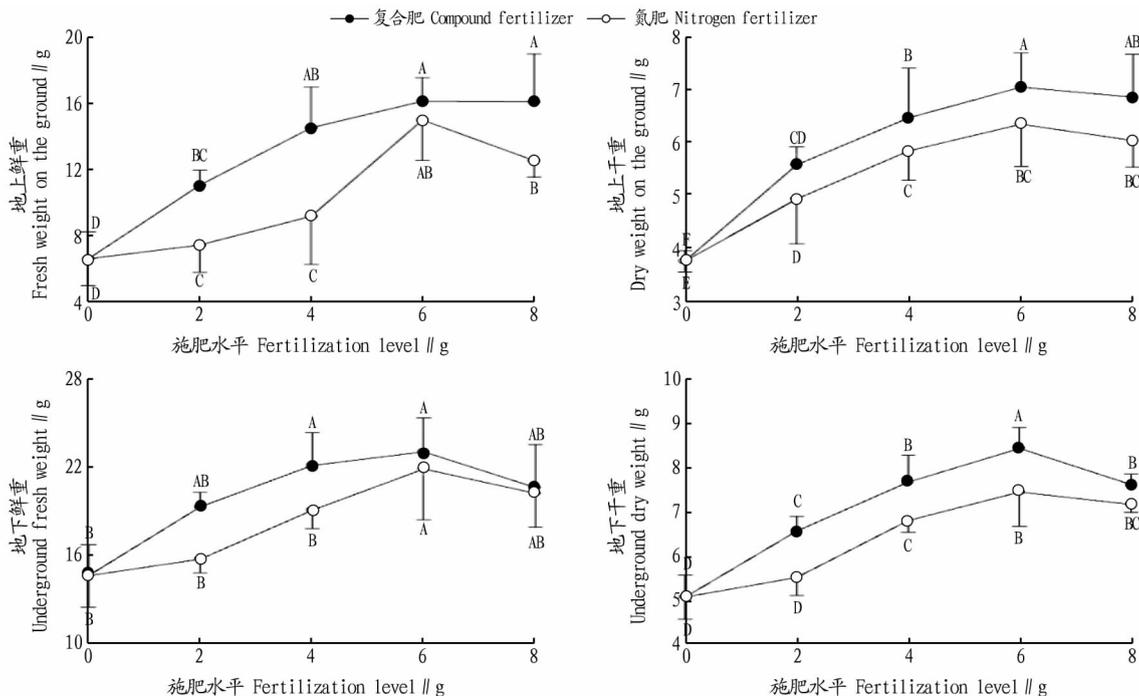


图 1 不同施肥水平对生物量分配的影响

Fig. 1 Effects of different fertilizer application on the biomass allocation

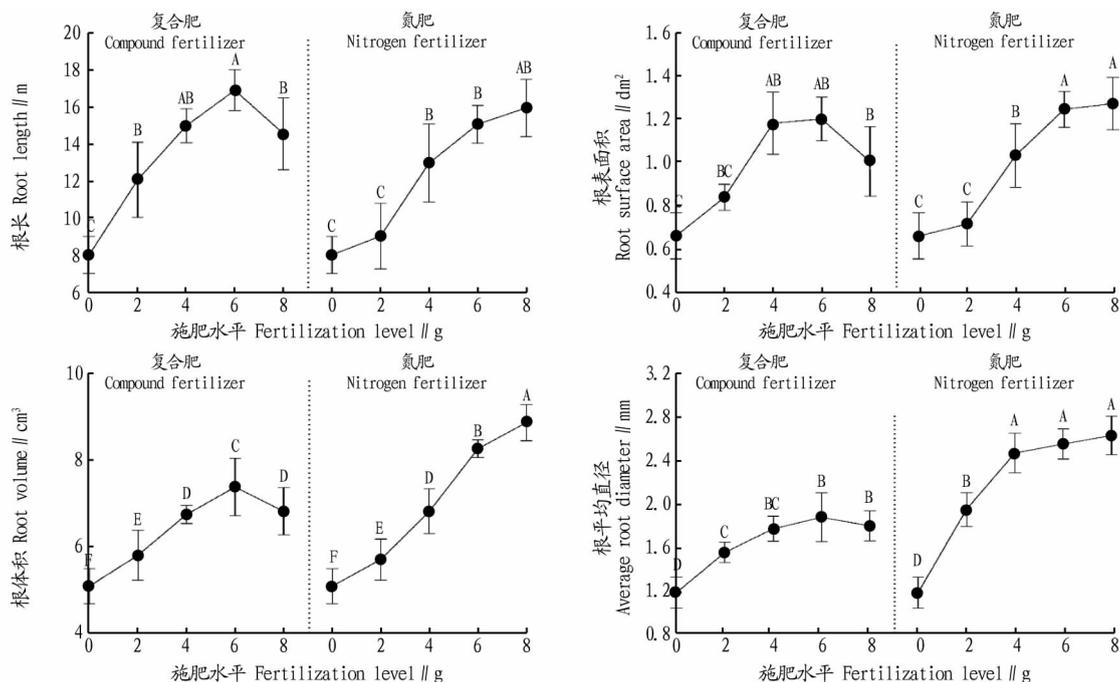


图 2 不同施肥水平对根系形态指标的影响

Fig. 2 Effects of different fertilizer application on root morphology

2.6 七叶树苗木生物量与根系形态指标的相关性分析 对七叶树苗木生物量与根系形态指标进行相关性分析,结果表明(表 4),根生物量、茎生物量、总根长和根表面积间都呈极显著正相关($P < 0.01$);根体积分别与总根长、根表面积呈极显著正相关,根体积与根生物量呈显著正相关($P < 0.05$);根平均直径与根体积呈极显著正相关,根平均直径与根表面积

呈显著正相关;其他指标间相关性不显著。

3 讨论

七叶树园林观赏价值极高,而且叶、花和果实等的提取物以及木材用途也十分广泛^[10]。由于七叶树欣赏价值高、用途广泛,人们对于七叶树的研究也越来越重视,但主要集中在绿化、药用、木材等方面,对苗木施肥研究较少,而施肥

对苗木质量又影响显著。因此,研究施肥对七叶树苗木生长及生理特性的影响将是七叶树栽培技术的一个重要方面。

从研究结果来看,施肥对七叶树苗木的高效培育作用十分明显。

表4 生物量与根系形态指标的相关性分析

Table 4 Correlation analysis between biomass and root morphological indexes

参数 Parameter	根生物量 Root biomass	茎生物量 Stem biomass	总根长 Total root length	根表面积 Root surface area	根体积 Root volume	根平均直径 Average root diameter
根生物量 Root biomass	1					
茎生物量 Stem biomass	0.971**	1				
总根长 Total root length	0.965**	0.926**	1			
根表面积 Root surface area	0.866**	0.813**	0.949**	1		
根体积 Root volume	0.687*	0.665	0.837**	0.921**	1	
根平均直径 Average root diameter	0.391	0.446	0.543	0.661*	0.835**	1

注: **表示在0.01水平极显著; *表示在0.05水平显著

Note: ** indicated extremely significant at 0.01 level; * indicated significant at 0.05 level

苗木施肥的目的是保证苗木正常生长和稳步提高苗木质量^[11]。该研究结果表明,在一定范围内,随着施肥量的增加,七叶树苗木各生长和生理指标都有显著提高,施肥对七叶树苗木生长发育具有良好的促进作用,但施肥量过多各指标反而有所下降,对七叶树苗木生长不利,在F-6处理下,七叶树各生长及生理指标总体表现最好。对于不同的植物,不同生长期需肥量不同,苗木施肥存在最佳施肥量问题,为此很多国内外学者也做过大量的研究。曲芬霞等^[12]对西藏砂生槐(*Sophora moorcroftiana*)进行研究时发现,五氧化二磷120~240 kg/hm²、氧化钾120~180 kg/hm²和氮肥150~225 kg/hm²为最佳施肥量,该施肥处理能够大大提高西藏砂生槐的干物质积累和地径生长。Ballard^[13]研究表明,在生物学意义上,火炬松(*Pinus taeda* L.)的最佳施氮量平均为224 kg/hm²。合理的氮肥用量能使多种作物增产,而用量过多则会降低产量^[14]。鲁鑫^[15]研究表明,根据苗木生理活动对苗木进行合理施肥是提高苗木质量和产量的有效途径。范里等^[16]在雪松(*Cedrus deodara* (Roxb.) G. Don)幼年期研究中表示,合理施肥可以加快雪松幼苗生长速度,缩短育苗周期。

3.1 苗高和地径 苗高、地径是反映植株生长质量好坏最直观的表现。朱芹^[17]研究施肥对山茱萸(*Cornus officinalis* Sieb. et Zucc.)生长及抗性生理影响时表示,单肥型和复肥型下的山茱萸苗高、地径和干物质均高于不施肥处理,而复肥型的影响效果又好于单肥型;在苗高一定范围内,地径可以作为反映苗木抗性的形态指标。张华林^[18]在研究施肥对尾巨桉(*Eucalyptus urophylla*×*Eucalyptus grandis*)苗木生长影响时表示,随着施氮量的增加,苗木的苗高、地径、叶绿素含量和生物量都增加,当氮肥大于0.1 g/株后,地径趋于稳定,苗高和叶绿素含量明显降低。该研究结果表明,在一定的范围内,施肥对七叶树苗木苗高、地径有显著的促进作用,施肥过量,促进作用降低。而复合肥相对氮肥对其影响效果更显著,此结果与上述张华林^[18]的研究结果相一致。

3.2 高径比 高径比是将苗高和地径2个指标有机结合起来,它反映了苗木生长中高度和粗度间的平衡状况,是衡量苗木抗性及其造林成活率的较好指标。一般情况下,高径比大

小适宜,则苗木长势较粗壮,抗性增强,造林成活率也相对较高;高径比越大,说明苗木长势表现又细又高,抗性较弱,造林成活率低^[19]。该试验中,高径比在F-6处理下表现最好,说明6 g/(株·次)复合肥对高径比的影响最好。

3.3 生物量 苗木生长量大小主要在于干物质的积累量,苗木干重是反映干物质积累状况十分重要的指标,同时也是反映苗木质量的重要指标^[20]。地上部分和地下部分的积累共同构成了苗木生物量的积累,只有地上和地下生物量得到协调平衡生长,才能提高苗木整体的生长质量。该研究表明,适量施复合肥、氮肥有利于七叶树苗木生物量的积累,肥料缺少或过量均对生物量的积累不利。这一结果与王力朋等^[21]的研究结果一致。郑辉等^[22]在研究施肥对刺槐(*Robinia pseudoacacia* L.)生长影响的结果中发现,施肥有利于营养物质在苗木体内的转化和积累,也有利于苗木地径的生长和干物质的积累。左永忠等^[23]在研究施肥对合欢(*Albizia julibrissin* Durazz.)生长影响时表明,施用磷、镁肥能显著提高生物量的积累,且苗木生长效果良好。该研究结果表明,在一定的范围内,施肥有利于七叶树苗木生物量的积累,同等施肥量条件下,复合肥更优于氮肥。

3.4 根系形态指标 根系的生长发育与根系活力强弱对植株个体的生命活力有直接影响,根系活力表现为根系从土壤中吸收水分和养分的能力。根系活力越强,植株吸收水分和养分的能力越强,植株生长越旺盛;根系衰老,则相反,最后可能导致植株死亡^[24]。王力朋等^[21]在研究楸树(*Catalpa bungei* C. A. Mey)时表明,适量施氮有利于提高楸树无性系的根系形态指标,过量施氮对根系形态有抑制作用。该试验中,对根系发育的影响表现为氮肥大于复合肥,适量施氮肥对根系生长发育有显著的促进作用,施肥过量对根系发育促进作用不明显甚至产生抑制作用。所以,施用复合肥的同时,合理施入氮肥对七叶树苗木生长发育的促进作用更好。

3.5 比根长 比根长是指单位质量根的总长度,一般认为,比根长较大的植株,根系吸收水分及养分的效率也相对较高,比根长大小可以反映根系活力的强弱^[25]。该试验中,施肥对七叶树苗木比根长的影响表现为氮肥大于复合肥,2种肥料对比根长皆有不同程度的促进作用。

4 结论

4.1 复合肥对七叶树苗木生长的影响 不同复合肥水平处理下,七叶树苗木生长指标值随复合肥施入量的增加大体呈先增加后降低的趋势,F-6 处理均达到最大值,继续增加复合肥施入量,在 F-8 处理时有所降低,说明复合肥的大量施入对苗木生长出现了不利影响。F-6 处理下苗高增量最大,为 20.8 cm,是 CK 的 4.00 倍;F-6 处理下地径增量最大,为 2.49 mm,是 CK 的 3.56 倍;高径比在 F-6 处理下降低最大(6.29);生物量积累在 F-6 处理时取得最大值,地上、地下鲜重和地上、地下干重分别是 CK 的 2.44、1.58、1.88 倍;总根长、根表面积、根体积和根平均直径均在 F-6 处理下最大,分别是 CK 的 2.11、1.82、1.45 和 1.60 倍;七叶树苗木比根长在 F-6 处理下最大,为 2.01 m/g,是 CK 的 1.26 倍。

4.2 氮肥对七叶树苗木生长的影响 不同氮肥水平处理下,七叶树苗木生长指标值随氮肥施入量的增加大体呈先增加后降低的趋势,在 N-6 处理时各指标值达到最大值,继续增加氮肥施入量,N-8 处理下有所降低,说明氮肥的高施入量对苗木生长不利。N-6 处理下苗高增量达到最大,为 16.3 cm,是 CK 的 3.13 倍;N-6 处理下地径增量达到最大,为 1.98 mm,是 CK 的 2.83 倍;高径比在 N-6 处理下降低最大 8.58。地上、地下鲜重和地上、地下干重均在 N-6 处理时取得最大值,分别是 CK 的 2.27、1.50、1.69 和 1.47 倍;七叶树苗木各根系形态指标总根长、根表面积、根体积和根平均直径等在 N-8 处理下均达到最大值,分别是 CK 的 1.99、1.93、1.74 和 2.24 倍;不同氮肥处理下,比根长整体呈增加趋势,N-8 处理下达到最大值 2.23 m/g,是 CK 的 1.40 倍。

4.3 相关性分析 该研究相关性分析表明,七叶树苗木生物量与根系指标间大多呈极显著正相关,这表明根系生长与苗木生物量的积累密切相关。

参考文献

- [1] 张天麟. 园林树木 1600 种[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2010:382-383.
- [2] 徐文,陈西仓,张振纲. 七叶树的栽培技术与开发利用[J]. 中国野生植

- 物资源,2003,22(3):34-35.
- [3] 李汉友. 七叶树的生物学特性与应用开发[J]. 安徽农学通报,2010,16(7):92-93.
- [4] 刘争,于晓萍,贾书果. 七叶树研究进展及开发利用[J]. 安徽农业科学,2012,40(10):5986-5988.
- [5] 张新,王志伟. 七叶树属药用植物的化学、药理和临床研究概况[J]. 中药材,2001,24(7):526-529.
- [6] 石召华. 七叶树属植物资源及品质研究[D]. 武汉:湖北中医药大学,2013.
- [7] 魏红旭,徐程扬,马履一,等. 缓释肥和有机肥对长白落叶松容器苗养分库构建的影响[J]. 应用生态学报,2011,22(7):1731-1736.
- [8] 王冉,何茜,丁晓纲,等. N 素指数施肥对沉香苗期光合生理特性的影响[J]. 北京林业大学学报,2011,33(6):58-64.
- [9] 陈玉华. 篾竹无性系种群生态学特性研究[D]. 南京:南京林业大学,2004.
- [10] 刘湘. 欧洲七叶树的化学、药理作用和临床[J]. 国外医药(植物药分册),1999,14(2):47-52.
- [11] 左海军,马履一,王梓,等. 苗木施肥技术及其发展趋势[J]. 世界林业研究,2010,23(3):39-43.
- [12] 曲芬霞,吴桂容,姚震震. 西藏砂生槐施肥试验[J]. 贺州学院学报,2008,24(2):137-139.
- [13] BALLARD R. Optimum nitrogen rates for fertilization of loblolly pine plantations[J]. Southern journal of applied forestry,1981,5(4):212-216.
- [14] 蒋卫杰,郑光华. 氮钾互作对蔬菜生长发育的影响[J]. 中国蔬菜,1992(2):46-50.
- [15] 鲁鑫. 施肥对复叶槭容器苗生长的影响[D]. 郑州:河南农业大学,2009.
- [16] 范里,仲秀林,陈卫平. 雪松苗期施肥试验[J]. 江苏林业科技,2001,28(3):25-26,43.
- [17] 朱芹. 肥料与生长调节剂对山茱萸苗木生长及抗寒性影响[D]. 北京:北京林业大学,2007.
- [18] 张华林. 尾巨桉苗期指数施肥及其生理效应研究[D]. 北京:中国林业科学研究院,2013.
- [19] 高俊飞. 不同施肥配方对榉树幼苗生长和生理的影响[D]. 南京:南京林业大学,2013.
- [20] 沈国舫. 森林培育学[M]. 北京:中国林业出版社,2001.
- [21] 王力朋,晏紫伊,李吉跃,等. 指数施肥对楸树无性系生物量分配和根系形态的影响[J]. 生态学报,2012,32(23):7452-7462.
- [22] 郑辉,刘彦慈,李帅英,等. 氮磷对刺槐生长和蛋白质组分的影响[J]. 河北农业大学学报,2006,29(5):44-46.
- [23] 左永忠,申增元,宋珍,等. 氮磷镁对合欢幼苗生长效应的研究[J]. 河北林果研究,1997,12(1):63-67.
- [24] 潘燕. 不同施肥对台湾栾木根系生长及衰老生理的影响研究[D]. 雅安:四川农业大学,2008.
- [25] WANG R,LI J Y,ZHANG F Q, et al. Growing dynamic root system of *Aquilaria malaccensis* and *Aquilaria sinensis* seedlings in response to different fertilizing methods[J]. Acta ecologica sinica,2011,31(1):98-106.