

不同N、P、K水平对砂生槐组培苗生长发育及养分转运的影响

唐正春^{1,2,3}, 魏小红^{1,2,3*}

(1. 肃农业大学生命科学技术学院, 甘肃 州 30070; 2. 省部共建干旱生境作物学重点实验室, 甘肃 兰州 30070; 3. 甘肃省干旱生境作物学重点实验室, 甘肃 兰州 730070)

摘要:【目的】通过研究不同氮、磷、钾配比对砂生槐(*Sophora moorcroftiana*)生长发育、养分积累、转运效率和利用率的影响, 找到最适施肥配比。【方法】采用砂生槐组培扩繁苗, 采用 $L_9(3^4)$ 正交设计, 探究不同水平N(150、300、450 mg/L)、P(50、100、150 mg/L)、K(100、200、300 mg/L)配施对砂生槐组培苗生长发育及养分转运的影响。【结果】1) 施肥处理对砂生槐幼苗地径生长没有显著影响, 但是能显著使幼苗长高, 比CK增高了18.2%~61.3%, 处理后幼苗根、茎、叶生物量都显著高于CK, 分别增高了38.6%~121.7%、76.6%~156.6%、46.5%~158.5%。2) 氮磷钾不同配比会影响砂生槐幼苗各器官内的养分积累, $N_3P_3K_2$ 处理能显著提高砂生槐幼苗体内的氮含量, 比CK增高了116.6%; $N_1P_2K_2$ 、 $N_1P_3K_1$ 处理能提高砂生槐幼苗体内的磷含量, 比CK增高了149.2%、119.7%; $N_1P_3K_1$ 、 $N_3P_3K_2$ 处理能提高砂生槐体内的钾含量, 比CK提高了163.1%、186.9%。3) $N_1P_2K_2$ 处理下, 氮的转运效率最高可达120%; $N_1P_1K_1$ 处理下, 磷的转运效率可达69%; $N_3P_2K_1$ 处理下, 钾的转运效率最高可达94%。(4) $N_3P_3K_2$ 处理的氮利用率最高可达38.9%, $N_1P_2K_2$ 处理的磷利用率最高可达49.7%, $N_3P_3K_2$ 处理的钾利用率最高可达62.3%。【结论】施氮量450 mg/L、施磷量150 mg/L、施钾量200 mg/L, 氮磷钾配比为9:3:4时, 最有利于砂生槐幼苗的生长。

关键词: 砂生槐; 组培苗; 生长发育; 养分积累; 转运效率; 利用率; 氮磷钾

中图分类号: S793.9 **文献标志码:** A **文章编号:** 1009-5500(2023)05-0144-08

DOI: 10.13817/j.cnki.cycp.2023.05.019



砂生槐(*Sophora moorcroftiana*)为被子植物门豆科槐属小灌木、株高矮小、喜暖干旱中生长而多枝、高约1 m, 因树枝带有刺, 亦称为“刺树”^[1]。主要分布在海拔2 800~4 400 m的山坡上, 河滩及沙滩上也有分布^[2]。砂生槐具有极强的抗旱、耐贫瘠、抗风沙等生态

适应性, 具有良好的防风固沙、保持水土的功能, 在营养、观赏性以及药用等方面都极具开发利用价值^[3]。砂生槐的株高、叶片数、茎粗等形态会随着营养生长的变化而变化, 刘莹等^[4]运用ward's对砂生槐种群进行聚类分析发现, 中、高海拔亚群的种子更饱满, 千粒重更大, 萌发能力更强, 而中、低海拔亚群的幼苗长度、胚根长度和侧根数更高; 这可能与砂生槐的营养生长有关。而株高和茎粗与植物的生长状况在一定范围内呈现正相关, 可作为反映植物生长的形态指标^[5]。砂生槐从被发现利用价值至今, 都以播种方式进行育苗^[6], 并且已经形成了一种生产砂生槐幼苗的培育方式。关于砂生槐组培苗研究报道中, 说明了如何诱导产生丛生芽, 而对移栽幼苗后期管理没有进一步研究, 本试验在前人研究的基础上针对砂生槐组培

收稿日期: 2020-03-26; **修回日期:** 2022-04-10

基金项目: 国家自然科学基金项目(32060401); 甘肃农业大学科技创新基金(GAU-KYQD-2020-7); 甘肃农业大学干旱生境作物学重点实验室开放基金课题(GSCS-2021-10)

作者简介: 唐正春(1997-), 女, 贵州兴仁人, 硕士研究生。

E-mail: 1784774816@qq.com

*通信作者。E-mail: weixh@gsau.edu.cn

幼苗后期生长作了施肥营养研究。

对幼苗进行施肥管理是植物营养调控的重要手段之一^[7],合理的施肥能让苗木发挥更大的生长潜力^[8];矿质元素在植物的整个生长发育过程中起着不可或缺的作用,而其中 N、P、K 作为“肥料三要素”,是植物在生长和生产上需要大量补充的营养元素,氮素是植物各种氨基酸、核酸和蛋白质等的重要组成部分,磷素参与植物体内含磷化合物的合成,钾素有利于植物在不同生育阶段器官的生长,3 种元素缺少任何一种都会导致植物发育不良^[9-10]。而合理的对植物进行施肥不仅能够使植株内 3 种元素的浓度保持在适当的水平,而且还能实现稳产的目的^[11]。研究发现,在三七和苜蓿等植物中,适当的施肥不仅可以提高产量而且还能改善其品质,对其养分利用率和植株产量的影响都极为显著^[12-13],郝跃等^[14]在对红花玉兰的研究中发现,氮肥的施加在适合的浓度范围下对苗高生长能起到促进作用;磷肥主要影响根系生长,高磷浓度对根系生长起促进作用;而钾肥对红花玉兰的生长没有明显的影响。就砂生槐而言,目前对其扩繁幼苗的研究还没有过多的深入,此前多集中在其药用价值方面,而营养元素对砂生槐生长发育影响的研究还有待进一步探讨,因此,为了探讨砂生槐扩繁幼苗的苗期综合施肥效果,通过正交试验设计 N、P、K 的不同配比施入,通过对砂生槐营养生长、生殖生长阶段的进一步栽培探索,分析不同营养元素对比对砂生槐扩繁幼苗生长的影响,并深入了解砂生槐营养生长与生殖生长阶段的基本形态变化以及研究不同处理间幼苗各器官养分含量积累和转运效率的差异,对于进一步研究营养元素调控砂生槐的发育机理奠定理论基础。

1 材料和方法

1.1 试验材料

试验材料为砂生槐种子培养出的无菌苗,种子为 2020 年 9 月采自西藏自治区米林县、自然晾干后并置于通风处保藏的种子,将无菌苗按一茎段两枝叶剪下放入生根培养基中进行生根培养,当组培苗在瓶内诱导生长至刚生根时,选取同一批生长一致的砂生槐幼苗移入 10 cm×9 cm 的塑料盆,栽培基质为泥炭土:蛭石=3:1 的混合基质,每盆基质装至距盆沿 1 cm 左右,每盆一株,移入长日照培养箱进行培养生长,待其生

长出第 2 节茎段时移入短日照培养箱进行处理,模拟幼苗种植在实地日照条件。

1.2 试验方法

试验采用 $L_9(3^4)$ 正交设计,每升营养液(由 NH_4NO_3 、 $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 、 KCl 按比例混合)中的 N、P、K 元素含量配比和处理因素,水平见表 1,每个处理重复 10 盆,同一处理的 10 盆幼苗统一放入托盘中,方便后期施加营养液,以不施肥作为对照。营养液中的 N、P、K 分别来自 NH_4NO_3 、 $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 、 KCl ,幼苗需要的其余元素由霍格兰营养液提供。将幼苗移栽花盆后缓苗 15 d 后开始处理,之后每隔 7 d 浇灌 1 次营养液,每次浇入每盆 100 mL,在两次相邻的处理之间看幼苗生长情况和基质湿润度情况适当浇水,如果在下次施加营养液时,个别盘中营养液过多,则需要将营养液清理掉,更换新的营养液,避免营养液过多积累,导致幼苗出现富营养化而影响幼苗生长^[15]。

表 1 试验因素及水平

Table 1 The factors and levels in the test

编号	处理	N/(mg·L ⁻¹)	P/(mg·L ⁻¹)	K/(mg·L ⁻¹)
1	N ₁ P ₁ K ₁	150	50	100
2	N ₂ P ₁ K ₂	300	50	200
3	N ₃ P ₁ K ₃	450	50	300
4	N ₁ P ₂ K ₂	150	100	200
5	N ₂ P ₂ K ₃	300	100	300
6	N ₃ P ₂ K ₁	450	100	100
7	N ₁ P ₃ K ₁	150	150	100
8	N ₂ P ₃ K ₃	300	150	300
9	N ₃ P ₃ K ₂	450	150	200
10	CK	0	0	0

1.3 测定指标及数据处理

幼苗在育苗盆中缓苗 15 d 后随机取 5 株不同处理的幼苗,测定的生物量和养分积累量;其余植株进行施肥处理,待植株开始有叶片掉落即植株内养分不再流转时,进行各器官中 N、P、K 含量的测定。样品采用浓 H_2SO_4 — H_2O_2 消煮法进行消煮后,全磷含采用钼黄比色法测定。全氮含量用靛酚蓝比色法测定,全钾含量应用火焰分光光度计法测定^[16]。每项指标的测定重复 3 次,取其平均值进行数据分析,根、茎、叶分开装称其鲜重并测量各项指标。

试验结果采用转运效率和养分利用率作为评价指标^[17],用以下公式进行计算:

$$T=\frac{N2-N1}{N1}\times 100\%$$

(1)

$$A=\frac{U1-U0}{U_0}\times 100\%$$

(2)

式中:T为转运效率(%);N1为施肥前养分积累量(mg);N2为施肥后养分积累量(mg)。A为养分利用效率(%);U0为对照植株养分吸收量(mg);U1为施肥处理植株养分吸收量(mg)^[18]。

$$N(P、K)\text{养分积累量}=\text{含}N(P、K)\text{量}\times\text{干物质重}$$

(3)

$$\text{养分吸收量}=\text{收获期养分积累量}-\text{初期养分积累量}$$

(4)

使用Excel进行数据统计,SPSS 22.0进行数据分析;使用Origin 2018版软件进行图形的绘制。

2 结果与分析

2.1 不同 N、P、K 水平对砂生槐株高、地径、根长的差异

处理 9 的株高最高(25.6 cm),比对照组(9.87 cm)提高了 159.4%。根长也是处理 9 最长(19.87 cm),比对照(10.2 cm)提高了 94.8%。处理 2 的地径达到最大(0.8 mm),比对照(0.49 mm)提高了 63.3%,而处理 3、7、9 均为 0.64 mm,均比对照提高了 30.6%(表 2)(图 1)。

表 2 不同施肥处理下植株的株高、地径、根长

Table 2 Plant height,ground diameter and root length of each treatment

处理	株高/cm	根长/cm	地径/mm
1	25.13±1.42 ^{ab}	19.57±0.71 ^a	0.58±0.04 ^{bc}
2	21.37±3.30 ^{bc}	10.97±3.37 ^d	0.80±0.17 ^a
3	20.37±2.59 ^c	11.40±1.97 ^c	0.64±0.03 ^b
4	25.40±0.26 ^{ab}	14.40±2.75 ^b	0.61±0.05 ^{bc}
5	16.00±2.13 ^d	15.03±2.54 ^b	0.55±0.08 ^{bc}
6	20.07±3.68 ^{cd}	12.20±0.90 ^c	0.59±0.03 ^{bc}
7	20.83±0.65 ^c	14.73±5.08 ^b	0.64±0.04 ^b
8	23.17±0.21 ^{abc}	12.60±1.05 ^c	0.62±0.05 ^{bc}
9	25.60±0.50 ^a	19.87±3.33 ^a	0.64±0.03 ^b
CK	9.87±1.52 ^d	10.20±0.36 ^d	0.49±0.07 ^c

注:同列不同小写字母表示差异显著(P<0.05)。下表同

2.2 不同 N、P、K 水平对砂生槐组培苗各器官物质重的影响

施肥处理的幼苗各器官的鲜重都高于对照(图



图 1 不同施肥处理下的幼苗生长情况
Fig. 1 Growth of seedlings after different fertilization treatments

2)。各处理下的根物鲜重比对照(0.048 g)提高了 38.6%~121.7%,以处理 1、4、9 的鲜重较高,分别为 0.253、0.315、0.344 g,而处理 6 与 7 的较低,分别为 0.112、0.142g。施肥后的茎物质重比对照(0.158 g)提高了 76.6%~156.6%,茎的物质质量以处理 3 和 9 的较高,分别为 0.517、0.503 g,而处理 5 的最低,为 0.17 g。施肥后的叶鲜重比对照(0.284 g)提高了 46.5%~158.5%,叶的鲜重处理 4 的最高,为 0.875 g,而处理 7、9 的相对小一些,分别为 0.742、0.783 g,处理 6 最低,为 0.452 g。

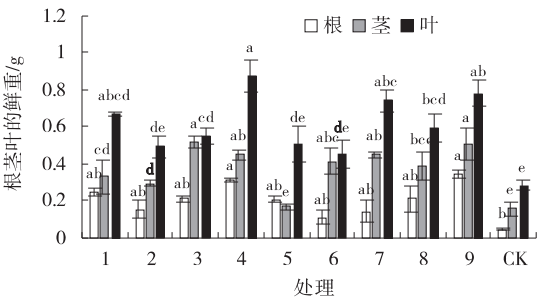


图 2 不同施量 N、P、K 对砂生槐各器官的物质重的影响
Fig. 2 Effects of different N,P and K levels on the biomass of various organs of Sophora pseudoacacia

注:小写字母表示差异显著(P<0.05)

2.3 不同氮磷钾配比与植株各器官营养积累的关系

2.3.1 氮在植株各器官中的分配 苗木的生长直接与 N 养分含量在植株内各营养器官中的积累有直接关系^[19]。经过不同施肥配比处理的幼苗各器官所吸收的氮含量不同,氮含量的分配率总体走势为根>叶>茎,处理 9 的整株含氮量显著高于对照(9.202 mg/g)。各施肥处理中根部 N 积累量均比对照组(3.205 g)高,提高了 5.9%~38.3%,处理 4 和 9 的根部氮养分含量最高,分别为 6.534 mg/g 和 6.802 mg/g。各施肥处理下茎部氮积累量比对照(2.831 g)提高了 11.1%~

28.1%。处理 9 的含氮量最高,达到了 6.455 mg/g。各施肥处理下叶部的氮含量比对照(3.166 g)提高了 5.5%~53.9%,处理 4 和 9 的氮在叶片部分的积累最大,分为 6.366、6.670 mg/g。处理 9 的整株、根部、茎部的氮含量均最大,即在 $N_3P_3K_2$ 肥料配比用量下对于砂生槐幼苗 N 元素的积累更有利(图 3)。

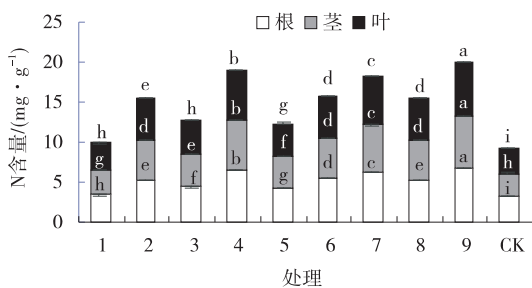


图 3 N 元素在植株各器官中的分配

Fig. 3 Distribution of N element in plant organs

2.3.2 磷在植株各器官中的分配 磷以多种方式参与植物的生长发育和各种生物化学反应,对植物的生长发育和新陈代谢起促进作用^[18]。磷在砂生槐幼苗中的分配总体规律为根>茎>叶,不同施肥处理后植株的磷含量均高于对照,不同施肥处理的幼苗根部磷养分含量比对照(0.472 g)提高了 13.6%~120.3%,其中磷含量较高为处理 4、7、8,分别达到了 1.040、0.987、0.853 mg/g。不同施肥处理的砂生槐苗茎部磷养分含量比对照(0.378g)提高了 39.4%~36.5%,处理 4 和 7 磷含量较高,分别为 1.045、0.881 mg/g。不同施肥处理下植株叶部的磷积累为对照(0.342 g)的 49.1%~148.8%,处理 4、8 的磷积累量最多,达到 0.885、0.821 mg/g(图 4)。

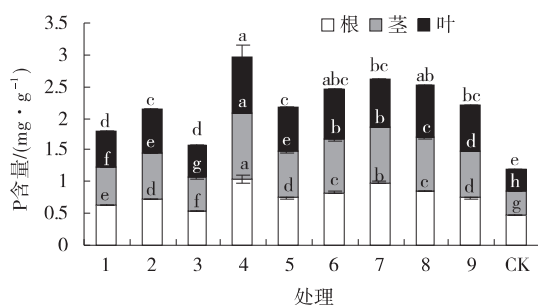


图 4 P 元素在植株各器官中的分配

Fig. 4 Distribution of P element in plant organs

2.3.3 钾在植株各器官中的分配 钾在植物体内的主要作用是活化酶活性而提高植物呼吸作用和光合作用,当钾供应充沛时,可提高植株中的纤维素和木

质素含量,从而使茎具有坚韧、抗倒伏的作用^[20]。由图 5 可看出,砂生槐幼苗中钾的分配总体规律为根>叶>茎,处理 5、7、8、9 整株钾元素含量显著高于对照组(12.531 g),分别为 28.987、32.964、31.848、35.960 mg/g。各施肥处理的钾素在植株根部的积累量为对照(4.256 g)的 53.4%~123.3%,其中处理 9 的含量最高,达到 12.058 mg/g。不同施肥处理下砂生槐幼苗茎部的钾素积累量比对照(4.07 g)提高了 52.9%~131.8%,处理 7 和 9 含量最高,达到 10.907、11.876 mg/g。不同施肥处理下砂生槐幼苗叶的钾含量均高于对照,比对照(4.205 g)高 51.2%~105.9%,其中处理 7 和 9 含量最高,分别为 11.018、12.026 mg/g(图 5)。

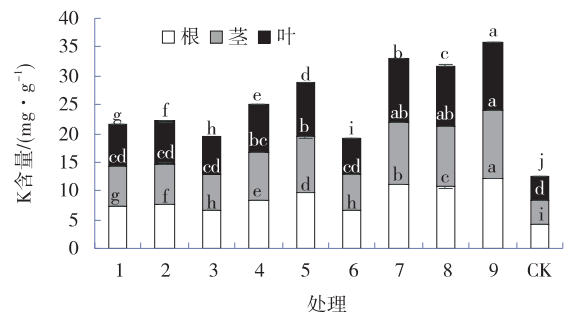


图 5 K 元素在植株各器官中的分配

Fig. 5 Distribution of K element in plant organs

2.4 不同氮磷钾比对根茎养分转运效率的影响

根对养分的吸收和茎对养分的转运都在幼苗的生长中起重要的作用,对幼苗的发育状况有直接的影响。氮磷钾配比只有在合适的比例下各处理幼苗对养分的积累才会比对照高,才能对砂生槐幼苗的生长起促进作用,N 的转运效率(35%~120%)要比 P(31%~69%)和 K(33%~94%)要高,转运效率最低是 P。各施肥处理下植株的氮转运效率均显著比对照高,差异极显著,处理 4($N_1P_2K_2$)下,N 的转运效率最高,比对照组高 85%,达到 120%;在 K 的转运效率上,只有处理 1、2、4、6 高于对照组,转运效率分别达到 68%、79%、91%、94%,分别提高了 3%、14%、26%、29%;处理 8、9 的 P 转运效率比对照组低的现象,而处理 1 的 K 转运效率高于其他处理,比 CK 提高了 34%(表 3)。

2.5 不同氮磷钾比对氮磷钾利用率的影响

不同处理 N 的利用率在 13.1%~38.9%,处理 4(35.9%)、7(33.1%)、9(38.9%)利用率较高;P 的利

表3 不同肥料处理对养分转运效率的影响

Table 3 Effects of different fertilizer treatments on nutrient transport efficiency

处理	N转运效率%	P转运效率%	K转运效率%
1	77±2.43 ^d	69±1.65 ^a	68±1.63 ^c
2	88±1.63 ^e	52±1.63 ^{cd}	79±2.45 ^b
3	56±1.64 ^f	53±2.43 ^{bed}	45±2.44 ^f
4	120±1.63 ^a	49±1.66 ^d	91±1.63 ^a
5	66±1.63 ^e	57±2.44 ^b	33±2.46 ^g
6	109±0.82 ^b	55±1.64 ^{bc}	94±1.63 ^a
7	42±1.64 ^b	52±1.62 ^{bed}	50±1.66 ^{ef}
8	39±0.81 ^{hi}	34±1.65 ^c	53±2.45 ^{de}
9	49±1.62 ^g	31±0.82 ^c	56±1.67 ^d
CK	35±1.65 ⁱ	35±0.81 ^c	65±2.47 ^c

用率在17.2%~49.7%，其中处理4(49.7%)、6(35.1%)、7(39.7%)、8(36.7%)较高；K的利用率在17.7%~62.3%，处理9(62.3%)最高(表4)。

表4 不同处理的养分利用率

Table 4 Nutrient utilization rate of different treatments

处理	N利用率%	P利用率%	K利用率%
1	24.3	17.2	23.6
2	22.7	26.7	25.5
3	13.1	10.7	18.6
4	35.9	49.7	33.3
5	11.4	27.5	43.7
6	23.7	35.1	17.7
7	33.1	39.7	54.3
8	23.1	36.7	51.3
9	38.9	28.2	62.3

2.6 综合分析

使用主成分分析法对植株的各项指标进行综合分析,而综合得分越高则对植株的生长越有利。结果显示,前3个综合指标的特征值大于1(1.711、1.478、1.257),贡献率分别达到38.54%、26.41%、20.46%,累积达到85.41%,表明这3个综合指标可以代表原单项指标85.41%的信息(表5)。处理9的得分最高,排名第1,即N₃P₃K₂处理方法最优,对砂生槐幼苗的生长最有利(表6)。

表5 各成分总方差解释

Table 5 Explanation of total variance of each component

成分	初始特征值			提取平方和载入		
	合计	方差/%	累积/%	合计	方差/%	累积/%
1	1.711	38.54	38.54	1.711	38.54	38.54
2	1.478	26.41	64.95	1.478	26.41	64.95
3	1.257	20.46	85.41	1.257	20.46	85.41
4	0.968	10.65	96.06			
5	0.439	1.17	97.23			
6	0.347	0.85	98.08			
7	0.265	0.76	98.84			
8	0.185	0.69	99.53			
9	0.143	0.47	100			

表6 不同N、P、K配比处理综合得分

Table 6 Comprehensive scores of different N,P and K ratios

处理	PC(1)	PC(2)	PC(3)	总和	排名
1	0.694	0.516	0.712	1.922	9
2	0.711	0.488	0.824	2.023	8
3	0.773	0.852	0.619	2.244	6
4	0.784	1.079	0.807	2.670	2
5	1.084	0.665	0.643	2.392	5
6	0.835	0.506	0.868	2.209	7
7	0.966	0.899	0.766	2.631	3
8	0.985	0.594	1.008	2.587	4
9	0.859	0.883	1.035	2.777	1

3 讨论

本研究发现,幼苗期经过施肥处理能促进砂生槐的生长,尤其是对苗高的促进作用极为显著,即幼苗期施肥处理对地上部分影响较大,但是对地径的生长影响不明显。在幼苗的鲜重方面,经施肥后幼苗茎鲜重均显著高于CK,比对照提高了76.6%~156.6%,综合育苗株高生长、物质重以及地径变化,砂生槐在幼苗期经过施肥处理对地上部分有较大影响,这一结论与一般的植物生长规律相一致^[21]。

当氮磷钾配比不同时也会使砂生槐幼苗各营养器官内的养分积累发生变化。本试验结果表明,砂生槐各器官中N的分配规律为根>叶>茎,P的分配规律为根>茎>叶,K的分配规律为根>叶>茎。而此试验结果与其他植物施肥试验结果一致^[22-23]。

氮磷钾元素的积累规律并不完全一致,可能是3

种元素交互作用的影响。因为本试验中使用的是正交试验设计,得到的结果只是所设计的方案内的值,完全试验还需要对此试验结果再进一步加以验证,并探究出最精确的施加量,因此后期还可通过拟合肥效响应曲线找到拐点以此确定最佳施肥用量^[24-25]。

能够让砂生槐幼苗的养分转运效率正向促进的并不是所有处理。不同的营养元素配比对砂生槐叶、茎中的养分转运效率影响显著,根部对养分的吸收是植物体内的养分来源^[26],在本试验中,根部养分积累量越大的施肥处理,其转运效率也较高,与秦爱文^[27]、王小林^[28]、杨胜玲等^[29]的研究结果一致。

幼苗对氮的利用率最高值达到38.9%,施肥量为最高值N₃水平,磷的利用率最高值为49.7%,施肥水平也为最高值P₃,即氮磷元素的积累量大均在施用高磷高氮的情况下出现。钾的利用率最高值为62.3%,施肥量为K₂水平,为中间施用量。这与林文欢^[30]、刘国立^[31]、张帆等^[32]的研究结果一致,说明苗木对养分的吸收存在一个阈值,当小于或者大于这个值时,都不能促进苗木生长^[33],因此在苗木的生长中适量施肥以此提高幼苗养分利用率十分重要。

4 结论

本研究对砂生槐扩繁苗的生长情况、鲜重、利用率、养分转运效率等因素进行了综合分析,得出以N₃P₃K₂配比,即氮施量为450 mg/L、磷施量为150 mg/L、钾施量为200 mg/L、氮:磷:钾=9:3:4时,砂生槐幼苗的生长状况最佳。

参考文献:

- [1] 刘成凤,曾加芹. 水分胁迫对锦鸡儿和砂生槐种子萌发及幼苗生长的影响[J]. 湖北农业科学, 2021, 60(15): 85—89.
- [2] 张胜,赵垦田. 西藏砂生槐研究综述[J]. 内蒙古林业科技, 2009, 35(1): 57—59.
- [3] 王梦妍,曾加芹,刘成凤,等. 盐碱胁迫对砂生槐种子萌发及幼苗生长的影响[J]. 湖北农业科学, 2021, 60(S1): 244—246+260.
- [4] 刘莹,麻文俊,杨桂娟,等. 砂生槐天然种群种实形态和萌发特征地理变异[J]. 西北林学院学报, 2019, 34(6): 22—29+36.
- [5] 张秋玲,杨秀珍,戴思兰,等. 不同氮磷钾水平对毛华菊生长发育的影响[J]. 山东农业大学学报(自然科学版), 2020, 51(4): 611—616.
- [6] 安毅鹏,侯潇斐,黄一凡,等. 西藏砂生槐种子休眠及解除方法研究[J]. 高原农业, 2020, 4(3): 244—248.
- [7] 张福锁,马文奇,李隆,等. 十多年来我国植物营养研究的部分进展与启示[C]//中国土壤学会第十次全国会员代表大会暨第五届海峡两岸土壤肥料学术交流研讨会论文集(面向农业与环境的土壤科学综述篇), 2004: 104—111.
- [8] 左海军,马履一. 苗木施肥技术及其发展趋势[J]. 世界林业研究, 2010, 23(3): 39—43.
- [9] 朱哲. 高粱氮素营养研究进展[J]. 农业科技通讯, 2019, (2): 168—169.
- [10] 张森,赵书岗. 缺磷对不同作物根系形态及体内养分浓度的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2013, 19(3): 577—585.
- [11] 梁华东. 浅析植物营养与肥料科学的发展趋势[C]//中国化工学会化肥专业委员会. 全国第14届新型肥料技术及新工艺推介研讨会论文集资料汇编. 中国化工学会化肥专业委员会, 2009: 6—10.
- [12] 宋希梅,朱永全. 基于“3414”的三七氮磷钾施肥量研究[J]. 农业资源与环境学报, 2019(1): 16—25.
- [13] 孙浩,张玉霞,梁庆伟,等. 施肥对科尔沁沙地苜蓿产量与品质的影响[J]. 草原与草坪, 2020, 40(3): 30—41.
- [14] 郝跃. 红花玉兰播种育苗技术与标准化体系研究[D]. 北京:北京林业大学, 2010.
- [15] 王越,温祥珍,李亚灵,等. 基质栽培中营养液配方对番茄养分吸收利用的影响[J]. 江苏农业科学, 2021, 49(23): 139—145.
- [16] 谭舒心. 混合盐胁迫下藜麦生理特性的研究[D]. 长春:东北师范大学, 2017.
- [17] 杨腾,段劼,马履一,等. 不同氮素用量对文冠果生长、养分积累及转运的影响[J]. 北京林业大学学报, 2014, 36(3): 57—62.
- [18] 施侃侃,梁栋,贾忠奎,等. 不同氮磷钾比对红花玉兰幼苗生长及养分转运的影响[J]. 中南林业科技大学学报, 2018, 38(9): 58—64.
- [19] 李萍. 太阳辐射减弱和O₃胁迫对土壤性质及冬小麦中N、P元素的影响研究[D]. 南京:南京信息工程大学, 2012.
- [20] 詹爱军,李兆华. 神农箭竹开花前后植物体内N、P、K元素的动态[J]. 武汉植物学研究, 2007(2): 213—216.
- [21] 魏猛. 施肥对土壤养分及文冠果生长和养分吸收的影响

- 研究[D]. 泰安:山东农业大学,2010.
- [22] 范志强. 氮磷营养及氮形态对水曲柳幼苗生长和生理的影响机制[D]. 哈尔滨:东北林业大学,2004.
- [23] 刘向东,尹陈茜. 遮光处理对观赏栀子氮磷钾分配与生长的影响[J]. 广西植物,2022,27(4):1—13.
- [24] 刘雪梅,韩康宁,杨海兴,等. 不同施肥方式对大棚松花菜生长生理、产量和品质的影响[J]. 甘肃农业大学学报,2021,56(4):43—50.
- [25] Iwasaki Shinya, Fukuda Monrawee, Ikazaki Kenta, et al. Optimal P fertilization using low-grade phosphate rock—derived fertilizer for rice cultivation under different ground—water conditions in the Central Plateau of Burkina Faso [J]. Soil Science and Plant Nutrition, 2021, 67 (4) : 76—80.
- [26] 孙浩燕. 施肥方式对水稻根系生长、养分吸收及土壤养分分布的影响[D]. 武汉:华中农业大学,2015.
- [27] 王小林,张盼盼. 黄土塬区施肥策略对大豆生物量分配及转化积累的影响[J]. 中国农学通报,2021,37(33):23—29.
- [28] 杨胜玲,黄兴成. 长期有机肥无机肥配施对水稻氮素吸收、转运及产量的影响[J]. 中国稻米,2021,27(6):63—68.
- [29] 秦爱文,刘远生. 氮磷钾配比施肥对桢楠幼苗生长及生物量积累的影响[J]. 南方林业科学,2021,49(5):21—24.
- [30] 林文欢,朱晓武. 氮磷钾施肥配比对中华楠苗木生长的影响[J]. 林业与环境科学,2021,37(6):142—147.
- [31] 刘国利,姚海燕. 黄河三角洲典型麦田氮磷钾肥料利用率研究[J]. 安徽农业科学,2021,49(13):163—164.
- [32] 张帆,杨茜. 大麦—双季稻轮作体系有机物料与化肥配施对大麦资源利用效率及产量的影响[J]. 作物学报,2021,47(12):2522—2531.
- [33] 郭慧慧. 不同施肥对人工羊草地生产力及养分吸收影响的研究[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2016.

Effects of different N,P and K levels on growth and nutrient transport of tissue cultured seedlings of *Sophora moorcroftiana*

TANG Zheng-chun^{1,2,3}, WEI Xiao-hong^{1,2,3*}

(1. College of life science and technology, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China;

2. Key Laboratory of Crop Science in arid habitats jointly built by provinces and ministries, Gansu

Agricultural University, Lanzhou 730070, China; 3. Key Laboratory of Crop Science in

arid habitats, Lanzhou 730070, China)

Abstract: 【Objective】 *Sophora moorcroftiana* serves multiple purposes, as it is not only an important medicinal plant, but also a preferred crop for wind-break, sand-fixing, water and soil conservation and an ornamental plant. To determine the optimum ratio of fertilizer application, this research investigated the effects of different ratios of N, P and K on the growth, nutrient accumulation, transport efficiency and utilization of *S. moorcroftiana*. 【Method】 In this paper, $L_9(3^4)$ orthogonal design was used for tissue culture and propagation of *S. moorcroftiana*. This study examined the effects of different levels of N (150, 300, 450 mg/L), P (50, 100, 150 mg/L), K (100, 200, 300 mg/L) on the growth and nutrient transport of *S. moorcroftiana*. 【Result】 1) Fertilization had no significant effect on the diameter growth of *S. moorcroftiana* seedlings. However it increased the height of seedlings by 18.2%~61.3% compared to the control (CK). Moreover, the biomass of roots, stems and leaves of seedlings significantly exceeded that of the CK, increasing by 38.6%~121.7%, 76.6%~156.6% and 46.5%~158.5% respectively. 2) Different ratios of N, P and K affected the accumulation of nutrients in different organs of *S. moorcroftiana* seedlings. $N_3P_3K_2$ treatment sig-

nificantly increased the nitrogen content of in *S. moorcroftiana* seedlings by 116.6%. $N_1P_2K_2$ and $N_1P_3K_1$ treatment increased the phosphorus content. Furthermore, the K contents in *S. moorcroftiana* increased by 149.2% and 119.7% treated with $N_1P_3K_1$ and $N_3P_3K_2$ respectively. In addition, and the K contents of in *S. moorcroftiana* increased by 163.1% and 186.9% treated with $N_1P_3K_1$ and $N_3P_3K_2$ respectively. 3) Under the treatment of $N_1P_2K_2$, the transfer efficiency of nitrogen reached 120%, phosphorus reached 69% under the treatment of $N_1P_1K_1$, and potassium reached 94% under the treatment of $N_3P_2K_1$. 4) The highest nitrogen use efficiency was achieved with $N_3P_3K_2$ at 38.9%, the highest phosphorus use efficiency with $N_1P_2K_2$ at 49.7%, and the highest potassium use efficiency with $N_3P_3K_2$ at 62.3%. Conclusion: Principal Component Analysis (PCA) was conducted to analyze the effects of $N_3P_3K_2$ on the growth of *S. moorcroftiana* seedlings. 【Conclusion】 The treatments of $N_3P_3K_2$, P 150 mg/L, K 200 mg/L, and N:P:K=9:3:4 were determined to be the most effective.

Key words: *Sophora moorcroftiana*; tissue culture seedling growth and development; nutrient accumulation; transport efficiency; utilization rate; nitrogen; phosphorus and potassium