西北林学院学报 2007，22(3)：96～99
Journal of Northwest Forestry University

氮磷钾对俄罗斯大果沙棘扦插苗生长效应的影响

张晓鹏， 赵 忠， 张博勇， 刘杜玲， 马振华

（西北农林科技大学 林学院，陕西 杨陵 712100）

摘 要：采用肥料效应回归分析试验设计，研究了N、P、K3种营养元素对俄罗斯大果沙棘嫩枝扦插苗苗高和地径生长的影响，建立了回归模型。结果表明：施肥对苗木的生长有显著的促进作用，3种营养元素中，N对于苗高和地径的影响最大；3种营养元素对苗木的生长有交互影响，N和P、N和K对苗高和地径的交互影响较大。俄罗斯大果沙棘嫩枝扦插苗N、P、K的最适施用量为253.8～303.17、153.23～194.57、140.13～144.28 kg·hm^{-2}。

关键词：大果沙棘；氮、磷、钾肥；交互作用；生长效应；回归模型

中图分类号：Q945.7　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：1001-7461(2007)03-0096-04

Effect of N,P and K on the Growth of Nursery Seedlings of *Hippophae rhamnoide* from Russia

ZHANG Xiao-peng， ZHAO Zhong， ZHANG Bo-yong， LIU Dou-ling， MA Zhen-hua

(*College of Forestry, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi* 712100, *China*)

Abstract: An orthogonal regression design with three factors (N, P and K) and five levels was adopted to investigate the effect N, P and K fertilizers on growth of nursery stocks of *Hippophae rhamnoide* from Russia through building models to demostrate the relations of fertilization and growth. The results showed that N fertilizer was the most important factor on height and diameter growth of nursery stocks; there was significant interaction between the N and P, N and K; the best combination of N, P and K fertilizers on growth of nursery stocks of *H. rhamnoide* from Russia was N: 253.8～303.17 kg/hm^2, P: 153.23～194.57 kg/hm^2, K: 140.13～144.28 kg/hm^2.

万方数据

Key words: *Hippophae rhamnoide*; N, P and K fertilizers; interact; growth effect; regression model

大果沙棘(*Hippophae rhamnoide*)为胡颓子科沙棘属植物，雌雄异株。沙棘枝繁叶茂，生态适应性强，具有保持水土、固氮肥土、抗干旱、耐瘠薄、耐盐碱、抗严寒、成活率高等特点[1]，是干旱半干旱地区植被恢复的优良植物材料[2]。同时，沙棘果、叶、皮中含有丰富的生物活性物质和多种维生素、氨基酸、脂肪酸、微量元素等物质，具有营养保健，增强人类体质的食用和药用价值；果实和叶子中含190多种有利于人体健康的生物活性物质，被称为“第三代水果”[4]。俄罗斯大果沙棘果实大，高产稳产，采摘容易，适应性强，抗严寒风沙，耐干旱和高温，也耐水湿和盐碱，近年来发展迅速，繁殖以嫩枝扦插为主、硬枝扦插为辅，但有关苗木质量的研究，特别是苗期N、P、K不同水平配比对于苗木质量的影响尚未见报道。建立肥料效应模型是目前国内外实现施肥定量化的主要途径。该研究采用正交回归试验设计对俄罗斯大果沙棘嫩枝扦插苗生物量与N、P、K不同施肥水平的效应进行研究，分析不同配比与苗木质量的相关关系，以探求培育优质大果沙棘苗木所需的N、P、K最佳配比，为优质苗木的培育提供理论依据。

收稿日期：2006-10-12　**修回日期**：2006-12-04
基金项目：国家林业局项目“黄土高原半干旱地区优良植物材料快繁技术研究与示范”(2003-030-L30)；西北农林科技大学科研专项“平衡施肥与苗木质量调控技术的研究”(04ZM024)
作者简介：张晓鹏(1970-)，男，陕西淳化人，助研，主要从事森林培育和经济林栽培技术研究。

1　材料与方法

1.1　试验地概况

试验设在甘肃省泾川县良种繁育中心，地处107°19′E，35°20′N，海拔 1 050 m，位于黄土高原中部秦陇交界处，是典型的黄土丘陵沟壑区。气候属温带半湿润大陆性季风气候，四季分明，降水多集中于夏季。年平均气温 10.0℃，无霜期 174 d。年平均降水量 553.4 mm，年日照 2 274 h，相对湿度 69%，年蒸发量 1 181.6 mm。极端最高温度 39.3℃，极端最低温度－24.0℃。土壤为泾河河谷地带发育的黄淤土*。根据 2005 年测定，土壤有机质含量 1.090%，全 N0.066%，全 P0.058%，全 K 0.043%。

1.2　材料

试验材料为西北农林科技大学 2004 年从中国林科院引入的俄罗斯大果沙棘苗木，在甘肃省泾川县示范园采用全光照喷雾技术繁育的嫩枝扦插苗，炼苗后移栽大田。2005 年 3 月 20 日移栽布设试验，苗龄 5 个月。

1.3　方法

万方数据

1.3.1　*试验设计*　田间试验采用肥料效应回归分析试验设计，即三元二次回归正交组合设计[5,6]，因素水平 $P=3$（分别为 N、P、K），全因子试验点 $m_c=8$，星号臂试验点 $m_r=6$，中心试验点 $m_0=3$，共 17 个处理。表 1 为因素的水平线性编码。

表 1　因素水平线性编码值

Table 1　Linear code for factors and levels　　kg/hm²

因素	水平线性编码（$r=1.353$）					
	$-r$	-1	0	1	r	Δj
N（X_1）	50	89	200	311	350	111
P_2O_5（X_2）	0	52	200	348	400	148
K_2O（X_3）	0	33	125	217	250	92

1.3.2　*试验布设*　将苗木进行分级，将大小基本一致的苗木按照株行距 20 cm × 30 cm 定植，50 株为一试验小区，小区间留隔离带 80 cm，按照试验设计进行试验区布设。K_2SO_4（$K_2O\geqslant33\%$）由中国（合资）欧罗肥料有限公司生产；尿素（总氮≥46.4%）由中国石油兰州石化公司生产；过磷酸钙（有效磷≥12%）由陕西省宝鸡磷肥厂生产。施肥时期分别为苗木速生期的前期、中期和后期，施肥量分别占全年施肥量的 30%、50%和 20%。采用分区计算称量后平均株施法施肥。

1.3.3　*生物量测定*　施肥前及苗木停止生长后逐株测定每个试验区 30 株苗木高、地径，计算小区平均苗高生长量和地径生长量。

2　结果与分析

2.1　不同施肥配比对俄罗斯大果沙棘苗木高生长的影响

2.1.1　*苗高回归模型的建立*　根据试验测定结果（表 2），应用 SAS 统计分析软件求得苗高与 N、P、K 三因子的回归方程：

$$H=75.3546+2.1085X_1+1.1874X_2+1.1797X_3-1.2484X_1X_2-0.8220X_1X_3-1.0070X_2X_3-1.0860X_1^2-1.8918X_2^2-1.3756X_3^2 \quad (1)$$

式中：H 为苗高增量（cm），X_1 为 N 肥用量的编码值[－1.353，1.353]，X_2 为 P_2O_5 用量的编码值[－1.353，1.353]，X_3 为 K_2O 用量的编码值[－1.353，1.353]。显著性检验可得 $R^2=0.9509$，$F=43.2$。对回归系数进行显著性检验，回归系数（Pr）均小于 0.1，回归方程拟合度较好，能够较好地反映苗高的变化规律。

表 2　试验方案及结果

Table 2　The experimental program and results

处理	试验编码值			生长量	
	X_1	X_2	X_3	苗高生长量/cm	地径生长量/mm
1	1	1	1	72.30	2.95
2	−1	1	1	72.20	2.84
3	1	−1	1	74.67	2.95
4	1	1	−1	74.33	3.01
5	−1	−1	1	68.20	2.82
6	−1	1	−1	70.10	2.02
7	1	−1	−1	71.83	2.89
8	−1	−1	−1	70.00	2.67
9	1.353	0	0	75.60	3.59
10	−1.353	0	0	71.28	2.90
11	0	1.353	1.353	73.33	2.56
12	0	−1.353	−1.353	70.67	2.76
13	0	0	0	73.00	2.87
14	0	0	0	70.89	2.57
15	0	0	0	75.66	2.89
16	0	0	0	74.87	2.80
17	0	0	0	75.28	2.90

* 甘肃省泾川县林业局. 甘肃省林木良种繁育中心建设项目设计方案，2004.

2.1.2 因素主次效应 经过无量纲线性编码代换后，偏回归系数已经标准化，故直接比较其绝对值大小，就可以判断各因数对苗高的影响。从(1)式一次项可以看出，3个因素对于俄罗斯大果沙棘苗木的影响大小为N>P>K，且3种营养元素对苗高生长均为正相关。交互作用的影响为NP>PK>NK。可以看出，3因素中，N素对俄罗斯大果沙棘苗高起着最重要的作用。这和在其他植物上的研究结果相似，如武占会等对天鹰椒施肥效应的研究[7]也有相同的主次效应结果。

2.1.3 N、P、K营养元素对苗高互作效应 对模型(1)一次降维，即将1个因子的编码值固定为0，得到另外2个因子的二元二次回归方程，即互作效应的回归方程(2)、(3)、(4)。

$$H_{NP} = 75.354\,6 + 2.108\,5X_1 + 1.187\,4X_2 - 1.248\,4X_1X_2 - 1.086\,0X_1^2 - 1.891\,8X_2^2 \quad (2)$$

$$H_{NK} = 75.354\,6 + 2.108\,5X_1 + 1.179\,7X_3 - 0.822\,0X_1X_3 - 1.086\,0X_1^2 - 1.375\,6X_3^2 \quad (3)$$

$$H_{PK} = 75.354\,6 + 1.187\,4X_2 + 1.179\,7X_3 - 1.007\,0X_2X_3 - 1.891\,8X_2^2 - 1.375\,6X_3^2 \quad (4)$$

从表3可以看出，在[-1.353，1.353]范围内，当N(X_1)取值一定时，苗高均随着P(X_2)值的增大而增加，随后随着P(X_2)的增加而减少；当P(X_2)一定时，随着N(X_1)值的增大，苗高生长量表现出不同的增长趋势，在低P(X_2=-1.353，-1)条件下，苗高生长量随着N(X_1)值的增大而增大，当N(X_1)增大到最大值时，苗高生长量也达到最大值；在高P(X_2=1，1.353)条件下，苗高生长量随N(X_1)值的增大先增大后减少；在[-1.353，1.353]范围内，N(X_1)=1，P(X_2)=0时，交互作用最大，苗高生长量达最大(76.38 cm)。从以上的分析可以看出，N、P(X_1、X_2)间存在着较为明显的交互作用，低P低N或者高P高N均不利于俄罗斯大果沙棘苗高的生长，N、P(X_1、X_2)合理的配比能够既促进俄罗斯大果沙棘苗高的生长又能减少高肥水平对苗高的抑制和对土壤造成的污染。Mitscherlich认为，单一养分的产量效应曲线是渐近线，当一种养分的供应增加时，其他矿质养分就变成了限制因子[8]。

表3 X_1(横)与X_2的交互作用对苗高的影响

Table 3 Effect of height growth under interactive between X_1 and X_2

水平	-1.353	-1	0	1	1.353
-1.353	63.158 73	65.401 32	70.284 90	72.996 49	73.434 99
-1	65.745 47	67.832 50	72.275 40	74.546 30	74.829 24
0	70.513 76	72.160 10	75.354 60	76.377 10	76.219 36
1	71.498 44	72.704 10	74.650 20	74.424 30	73.825 87
1.353	70.942 50	71.992 59	73.498 01	72.831 42	72.077 43

万方数据

同样，可以得出，在[-1.353，1.353]范围内，NK(X_1X_3)对苗高的最大交互作用出现在N(X_1)=1，K(X_3)=0；PK(X_2X_3)对苗高的最大交互作用出现在P(X_2)=0，K(X_3)=0时。说明N、K(X_1、X_3)和P、K(X_2、X_3)的交互作用对于俄罗斯大果沙棘苗高生长也有较大影响。

2.1.4 苗高最佳施肥量的确定 边际效应可以反映各因素的最适施用量，由于该模拟交互项系数均为负值，说明模型(1)必有极值点。分别对方程(1)中的变量X_1、X_2、X_3进行一阶偏导，并令其等于0，可得如下方程组：

$$dH/dx_1 = 2.109 - 1.248X_2 - 0.822X_3 - 2.17X_1 \quad (5)$$

$$dH/dx_2 = 1.187 - 1.248X_2 - 1.007X_3 - 3.784X_2 \quad (6)$$

$$dH/dx_3 = 1.180 - 0.822X_1 - 1.007X_2 - 2.751X_3 \quad (7)$$

对该方程组求解，可得出X_1=0.929、X_2=-0.037、X_3=0.165，此即苗高为最大生长量时的施肥编码值。应用编码公式，求出N、P、K最佳施肥量分别为303.17、194.57、140.13 kg·hm^{-2}，N∶P∶K=2.1∶1.4∶1。苗高生长量可达76.6 cm，加上试验前的平均苗高9.28 cm，得到该施肥配比下俄罗斯大果沙棘嫩枝扦插苗高可达85.88 cm，而未施肥的苗高增量为16.36 cm，苗高为25.64 cm。

2.2 不同施肥配比对俄罗斯大果沙棘苗木地径的影响

2.2.1 地径生长的主效应因子 地径是反映苗木质量的一个重要指标。对不同施肥配比苗木地径净

生长量的调查结果(表 2)进行的统计分析,得出苗木地径与 N、P、K 施肥量的编码值的回归模型:

$$D = 2.898 + 0.204X_1 - 0.068X_2 + 0.119X_3 + 0.094X_1X_2 - 0.122X_1X_3 + 0.070X_2X_3 + 0.164X_1^2 - 0.153X_2^2 - 0.121X_3^2$$

$$R^2 = 0.923, Pr = 0.004 < 0.01 \quad (8)$$

式中:D 为苗木地径年生长量(mm),X_1 为 N 肥用量的编码值[−1.353,1.353];X_2 为 P_2O_5 用量的编码值[−1.353,1.353];X_3 为 K_2O 用量的编码值[−1.353,1.353]。

从(8)式的一次项可以看出,在取值区间内,氮肥对俄罗斯大果沙棘苗木地径生长量影响最大,且二者呈正相关,钾肥次之,磷肥最小,同时为负相关。

2.2.2　N、P、K 对地径的互作效应　对模型(8)进行降维分析,寻求两因素对地径的交互作用,可以得到 N 与 P、N 与 K、P 与 K 间的交互模型:

$$D_{NP} = 2.898 + 0.204X_1 - 0.068X_2 + 0.094X_1X_2 + 0.164X_1^2 - 0.153X_2^2 \quad (9)$$

$$D_{NK} = 2.898 + 0.204X_1 + 0.119X_3 - 0.122X_1X_3 + 0.164X_1^2 - 0.121X_3^2 \quad (10)$$

$$D_{PK} = 2.898 - 0.068X_2 + 0.119X_3 + 0.070X_2X_3 - 0.153X_2^2 - 0.121X_3^2 \quad (11)$$

可以看出,X_1X_2、X_2X_3 的系数为正,说明 N 与 P、P 与 K 对俄罗斯沙棘地径生长为正效应。X_1X_3 系数为负值,说明 N 和 K 对俄罗斯沙棘地径生长为负效应。以 N 和 K 的交互作用为例(表 4),分析营养元素对苗木地径的交互作用,从表 4 可知,在[−1.353,1.353]范围内,N 水平一定时,地径生长量的交互作用随着 K 含量的增加先增加后减少;而当 K 处于一定水平时,地径生长量的交互作用随着 N 含量的增加而增加;当施 N 量取最高水平和施 K 量取中水平时,地径生长量达最大,说明在该条件下(X_1 =1.353,X_3=0)N 和 P 的交互作用最佳,其地径生长量为 3.48 mm。

在[−1.353,1.353]范围内,NP(X_1X_2)对地径的最大交互作用出现在 N(X_1)=1.353,K(X_2)=0;PK (X_2X_3)对地径的最大交互作用出现在 P(X_2)=0,K(X_3)=0 时。说明 N、P(X_1、X_2)和 P、K (X_2、X_3)的交互作用对于于俄罗斯大果沙棘苗高生长也有较大影响,但方程(9)、(10)、(11)中的交互项系数来看,NK>NP>PK,说明 NK 对苗木地径的交互影响最大。

万方数据

表 4　X_1(横)与 X_3 的交互作用对地径的影响

Table 4　Effect of diameter growth under interactive between X_1 and X_2

水平	−1.353	−1	0	1	1.353
−1.353	2.315 71	2.309 50	2.514 37	3.048 04	3.314 94
−1	2.516 80	2.495 40	2.657 20	3.147 80	3.399 50
0	2.922 37	2.857 90	2.897 70	3.266 30	3.474 94
1	3.085 34	2.977 80	2.895 60	3.142 20	3.307 77
1.353	3.084 93	2.962 19	2.836 93	3.040 46	3.190 83

2.2.3　地径最佳施肥配比　通过对模型(2)中的变量 X_1、X_2、X_3 进行一阶偏导,并令其等于 0,可得如下方程:

$$dD/dX_1 = 0.204 + 0.333X_1 + 0.094X_2 - 0.122X_3 = 0 \quad (12)$$

$$dD/dX_2 = -0.068 + 0.094X_1 - 0.306X_2 + 0.070X_3 = 0 \quad (13)$$

$$dD/dX_3 = 0.119 - 0.122X_1 + 0.070X_2 - 0.243X_3 = 0 \quad (14)$$

对该方程组求解,得 X_1=0.485,X_2=−0.316,X_3=0.210,此即为地径生长的最佳施肥编码值。通过编码公式,得到地径的最佳理论施肥量 N、P、K 分别为 253.80、153.23、144.28 kg·hm^{-2},N∶P∶K=1.8∶1∶1,此时,苗木地径生长量为 3.06 mm,加上施肥前地径的平均值 3.95 mm,可以得出在理论平衡施肥条件下,苗木地径可达 7.01 mm,而未施肥的对照苗木地径仅为 5.41 mm。

综合 N、P、K 营养元素对俄罗斯大果沙棘苗高和地径的影响,可以得出,在当地土壤条件下,俄罗斯大果沙棘嫩枝扦插苗的年最适施肥范围为 N:253.8～303.17 kg·hm^{-2},P:153.23～194.57 kg·hm^{-2},K:140.13～144.28 kg·hm^{-2},苗高可达 85.88 cm,地径可达 7.01 mm,较不施肥在苗木质量有较大的提高。

(下转第 151 页)

导管之间的纹孔膜的无定形区中存在11种无机元素，胞间层中无机物的含量比次生壁中无机物的含量要多的多，射线薄壁组织和导管之间的纹孔膜的无定形区无机物的含量为0.68%，木纤维的胞间层中无机物含量为0.54%，导管的胞间层中无机物的量为0.48%，射线薄壁细胞为0.15%，木纤维次生壁为0.14%，导管次生壁为0.10%。表明胞间层中无机物的含量高于次生壁[6]。

采用SEM-EDXA法对山油柑木材的分析表明，山油柑木材中硅石主要分布在木射线细胞、导管以及轴向薄壁细胞，呈圆形至椭圆形。

山油柑木材硅石中硅元素含量可达30%以上。随着树干高度的增加，硅石中硅元素的含量呈递减趋势。山油柑木材中硅石的直径为200～350 nm。

日本学者Matsunaga等对日本雪松(*Cedrus deodara* var. *japonica*)进行了研究，发现在早材和晚材的管胞中，无机元素铜在胞间层和初生壁的分布比次生壁中的多，铜还集中分布在管胞的纹孔塞中[7]。许多植物中都含有细胞状的棱晶形草酸钙晶体，通常集中在叶子部位，如大黄属植物叶子中草酸钙晶体的含量占其绝干重的15%[8]，苔藓类植物中草酸钙晶体的量占其绝干重的60%以上[9]，仙人掌植物中草酸钙的含量占其绝干重的85%以上[10]。Ellis采用光谱法对冷杉(*Abies fabri*)进行了研究，发现冷杉中含有无机元素达32种[11]。

万方数据

参考文献：

[1] Richter H G. Occurrence, morphology and taxonomic implication of crystalline and siliceous inclusions in the secondary xylem of the Lauraceae and related families[J]. Wood Science and Technology, 1980, 14: 35-44.

[2] Torelli N, Cufur K. Mexican tropical hard woods comparative study of ash silica content[J]. Holzals Roh-und werkstoff, 1995, 53(1): 61-62.

[3] 张耀丽，徐永吉，陈亚飞. 苏里南商用木材的灰分及二氧化硅含量分析[J]. 南京林业大学学报(自然科学版)，2003，27(4)：85-86.

[4] 周崚，姜笑梅. 中国裸子植物的木材解剖学及超微构造[M]. 北京：中国林业出版社，1994.

[5] Saka G. The distribution of inorganic constituents in black spruse wood as determined by TEM-EDXA[J]. Mokuzai Gakkaishi, 1983, 29(10): 648-656.

[6] Saka M. The distribution of constituents in white birch wood as determined by SEM-EDXA[J]. Mokuzai Gakkaishi, 1994, 40(1): 88-94.

[7] Hiroshi M, Junjt M, Kazuyuki O, et al. Microdistribution of copper in *Cryptomeria japonica* sapwood treated with cuAz preservative[J]. 木材学会志, 2002, 48(3): 199-206.

[8] Canti M G. Aspcts of the chemical and microscopic characteristics of plant ashes found in archaeological souls[J]. Catena., 2003, 54: 339-361.

[9] Syers J K, Birnie A C, Mitchell B D. The calcium oxalate context of some lichens growing on limestone[J]. Lichenologist, 1967, 3: 409-414.

[10] Cheavin W H S. The crystals and cystoliths found in plant cells[J]. The Microscope, 1938, 2: 155-158.

[11] Wllis. Cellular ultrastructure of woody plants[M]. W. A. Cote Jred. Syracuse University Press, 1965. 181-189.

(上接第99页)

3　结论

N、P、K3种植物生长营养元素均对俄罗斯大果沙棘的苗木生长具有明显的影响。其中，苗高影响效应为：N>P>K，地径为N>K>P。

P、N、K对俄罗斯大果沙棘苗高增长具有较为明显的交互影响，P、K交互作用不显著。

在该土壤肥力条件下，俄罗斯大果沙棘嫩枝扦插苗的最适施肥范围为N：253.8～303.17 kg·hm^{-2}，P：153.23～194.57 kg·hm^{-2}，K：140.13～144.28 kg·hm^{-2}，苗高可达85.88 cm，地径可达7.01 mm，可显著提高苗木的质量。

参考文献：

[1] 马正谭. 沙棘栽培技术讲座[J]. 北方园艺, 1994(1): 61.

[2] 阮成江，谢庆良，李代琼. 沙棘改善黄土高原生态环境的功能与效益[J]. 环境保护, 2000(5): 30-31.

[3] 孙荣军，白丽杉，吴克汶. 中国沙棘与俄罗斯大果沙棘叶总黄酮含量的比较[J]. 2003, 6(4): 33-34.

[4] 骆进仁，丁连生. 甘肃省不同类型区还草、还林与种植粮食作物经济效益比较[J]. 草业科学, 2004, 21(4): 39-43.

[5] 王兴仁，张福锁. 现代肥料试验设计[M]. 北京：中国农业出版社, 1996.

[6] 袁志发，周静芋. 试验设计与分析[M]. 北京：高等教育出版社, 2000.

[7] 武占会，申书兴，王惠英，等. 天鹰椒氮磷钾高产施肥模型研究[J]. 河北农业大学学报, 2004, 27(6): 26-29.

[8] 马斯纳 H. 高等植物矿质营养[M]. 北京：农业大学出版社, 1991. 98-105.