

克隆植物中国沙棘生长对外源植物激素的响应

李甜江¹, 李根前^{2,*}, 贺斌², 徐德兵³

(1. 北京林业大学, 北京 100083; 2. 西南林学院, 昆明 650224; 3. 云南省林业科学研究院, 昆明 650204)

摘要:关于植物克隆生长调节问题, 目前集中于外在机制的研究。为了探讨中国沙棘克隆生长调节的内在机制, 采用 3×3 回归设计进行田间试验, 期望了解不同生长性状对 IAA 和 CTK 用量及其配比的响应规律。结果表明: (1) 生长性状对激素用量的响应规律呈典型的钟形曲面模式, 即各生长指标均存在一个产量峰值, 峰值以前生长指标随 IAA、CTK 用量的增大而提高, 峰值以后生长指标随 IAA、CTK 用量的增大而下降。 (2) 不同生长指标对激素用量及其配比的响应规律具有一定差异, 较高的 IAA 比例有利于促进树高生长, 较高的 CTK 比例有利于促进地径和冠幅生长, 而几乎相等的 IAA 和 CTK 用量有利于种群生物量积累。 (3) 在激素用量适宜的情况下, 中国沙棘生长潜力得到充分发挥, 形成高大的个体, 较多的子株, 有利于提高种群对生境资源的占据和利用, 并提高排斥其他植物种类入侵的能力; 当激素用量过高或过低时, 中国沙棘以降低生长量为代价, 形成矮小的个体, 减少子株数量, 有利于削弱个体之间的竞争。这一结果为了解中国沙棘克隆生长内在调节机制提供了线索。 (4) 根据不同生长指标的激素效应方程, 求出了相应的 IAA 和 CTK 的最佳用量和最佳配比, 以及合理施激素区域和最低成本线。 (5) 克隆子株数量增幅与地径和冠幅生长量增幅呈极显著正相关、与种群生物量增幅呈显著正相关, 即适宜的 IAA 和 CTK 用量既可加速个体生长、也能促进克隆子株的产生。

关键词: 外源激素; 效应规律; 最佳用量; 最佳比例; 中国沙棘

The growth of clonal plant *Hippophae rhamnoides* L. ssp. *sinensis* in response to exogenous phytohormone

LI Tianjiang¹, LI Genqian^{2,*}, HE Bin², XU Debing³

¹ Beijing Forestry University, Beijing 100083, China

² Southwest Forestry University, Kunming 650224, China

³ Yunnan Academy of Forestry, Kunming 650204, China

Abstract: In order to maintain the stability and persistence of clonal population, clonal plant can make good use of favourable patches or avoid adverse patches by clonal plasticity regulation if the environment conditions are changed. Meanwhile the fitness of population is improved. The adjusting mechanism of clonal plasticity includes external mechanism and internal mechanism. However, researches about clonal plants growth regulation mainly focus on the external mechanism. In order to understand the intrinsic mechanism of clonal growth regulation of *Hippophae rhamnoides* L. ssp. *sinensis*, growth and biomass increment in response to Exogenous Phytohormone, IAA in combination with CTK, was studied by 3×3 regression design. The results showed that, (1) the regularity of growth traits in response to the amount of Phytohormone showed the convex surface models. Each growth index has a maximum value. The growth was improved as the increasing of amount of IAA and CTK in front of maximum value, and the growth was decreased as the increasing of amount of IAA and CTK in back of maximum value. (2) The regularities of different growth indexes in response to the amount and ratio of Phytohormone had some differences — the higher amount of IAA was advantage to the height growth of stem, the higher amount of CTK was advantage to the diameter growth and crown width growth, the nearly amount of IAA and CTK

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(30371193); 云南省学术与技术带头人专项基金资助项目(2005PY01-20)

收稿日期: 2009-05-25; **修订日期:** 2009-09-23

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: liyxbnu@bnu.edu.cn

beneficial to the accumulation of population biomass. (3) The growth potential of *Hippophae rhamnoides* L. ssp. *sinensis* was plenty developed when the amount of Exogenous Phytohormone was feasible. The individuals were tall and the amount of daughter ramet was increased. It was beneficial to not only population improve the lock-in and occupation and utilization to environment resource but also advance the ability of exclude other plants invading. When the amount of Exogenous Phytohormone was too high or too low, the individuals were short and the amount of daughter ramet was reduced to be beneficial to weaken the competition among individuals. This result provided clue to the internal adjusting mechanism of clonal growth. (4) The best amounts and rations of IAA and CTK, reasonable Phytohormones ranges and op-curve lines were gained based on Phytohormone effect equations of different growth index. (5) The increment of daughter ramet was not only significantly related to diameter increment and crown width increment but also highly related to population biomass. It showed the individual growth and daughter ramet generation were accelerated by the feasible amount of IAA and CTK.

Key Words: exogenous phytohormone; growth effect; best amount; best ratio; *Hippophae rhamnoides* L. ssp. *sinensis*

植物生长发育是一个复杂的过程,它既受遗传因素的控制,又受植物激素的调节^[1-2]。早在 1928 年, Went 就曾指出:“如果没有植物激素,植物就不可能生长”^[3]。事实证明,植物的发芽、生根、生长、器官分化、开花、结果、成熟、脱落、休眠等无不受到植物激素的调节控制。同时,植物生长发育过程并不是单一激素调节的结果,事实上多种激素间的某种平衡更为重要,即每个生理生化过程都受到多种激素的综合调控。例如,赤霉素能促进植物体内生长素的合成,可使结合态的生长素转变为游离态的生长素,对节间伸长等有增效作用;同时通过抑制生长素氧化酶的活性,减缓生长素的分解,以更好的进行生长调节^[4-5]。在林业上对植物激素的研究多集中于促进苗木生长或结实调节上^[6-10],而激素对克隆植物的营养生长和克隆繁殖的影响少见报道。目前,关于植物克隆生长调节的研究主要集中在外在机制方面,如水分、养分、光照等环境资源供应水平高低与克隆生长特征及形态特征的关系^[11-15]。但对于克隆植物而言,它能够通过体内激素(主要是生长素和细胞分裂素)平衡关系变化来调节顶端分生组织和侧生分生组织的活动强度,从而改变克隆生长格局,这个过程体现了植物克隆生长的内在调节机制^[16-17]。因此研究激素对克隆植物的生长调节机制具有一定的生态学意义。

中国沙棘(*Hippophae rhamnoides* L. ssp. *sinensis*)便是一种典型的克隆植物,广泛分布于我国北部干旱、半干旱地区。其可依靠强大的克隆生长(俗称串根萌蘖)能力形成“独木成林”之奇观,能从下湿地、丘间地扩散到沙丘顶部等人工造林难以成活的地段,被应用于防风固沙、水土保持、治理砒砂岩以及建立植物柔性坝等方面^[18-23]。鉴于中国沙棘的重要性,近年来开展了种群稳定性维持方面的研究,基本掌握了克隆生长特征及形态特征与土壤水分供应水平、施肥用量及其配比的关系,摸清了克隆生长调节的外在机制^[24-26],而中国沙棘克隆生长调节的内在机制还有待探讨。

因此,本文以克隆植物中国沙棘为对象,以田间试验数据为依据,探讨各生长性状指标与外源植物激素水平及其比例之间的定量关系,期望丰富克隆植物种群生态学的研究内容,并为中国沙棘的克隆生长调控提供依据。

1 研究区概况

研究区位于毛乌素沙地南缘的陕西省定边县,地处东经 107°15′—108°22′、北纬 36°49′—37°53′;属中温带干旱、半干旱大陆性季风气候,特点是四季分明、光照充足、干旱缺水、春秋季节风沙肆虐,年平均气温 7.9℃,年平均降水量 316mm,年蒸发量 2490mm;地貌特征是沙丘起伏、沙带连绵,海拔 1303—1418m;土壤以风沙土和盐碱土为主;地带性植被属于半荒漠草原,其植物区系兼具沙生、旱生和盐碱植物以及中生草甸植物的种类成份。试验地设在退耕还林地内,林地经过人工平整、土壤为风沙土,地势平坦、环境条件一致;中国沙棘林为实生苗营造,林龄 6a,试验前各样株长势均衡。

2 材料与方法

2.1 试验材料

中国沙棘属于胡颓子科 (Elaeagnaceae) 沙棘属 (*Hippophae*), 是属中最原始的类群和最主要的类群, 中国沙棘林面积占全国沙棘总面积的 85% 以上^[29]。其生长和繁殖过程具有明显的克隆生长习性^[30-31], 而且当环境资源改变时, 其可通过自身的可塑性调节对不同的环境条件作出响应, 以适应不同的资源供应水平。

试验采用生长素和细胞分裂素混合配施。其中, 生长素为吲哚-3-乙酸 (indole-3-acetic acid), 缩写 IAA, 最明显的作用是促进生长; 细胞分裂素为 6-糠氨基嘌呤 (6-Furfurylaminopurine), 缩写 CTK, 最重要的特点是促进细胞分裂。

2.2 田间试验

2.2.1 试验设计

试验采用 3 × 3 回归设计, 两因素三水平、9 个处理。激素用量按 Sen B R 的方法^[32], 选高、中、低 3 个量, 高为中的 2 倍, 低为 0 (表 1)。

2.2.2 田间排列与布设

为了提高试验成功率, 田间排列在汲取拉丁方特点的基础上进行设计^[33-36]。试验共设置 3 次重复, 每次重复由一个区组组成、划分为 9 个小区 (表 2), 每个小区包含 5 棵母株。激素施用采用溶液喷洒法, 将按比例配好的 IAA 和 CTK 混合溶液对全株进行喷洒。2005 年 7 月喷施了 1 次, 2006 年 5 月喷施了 5 次 (隔 5d 喷 1 次)。

表 1 激素配施试验设计

Table 1 The design of Phytohormone experiment

处理号 Treat number	生长素 IAA /(mg/L)	细胞分裂素 CTK /(mg/L)
1	IAA 0(0)	CTK0(0)
2	IAA 0(0)	CTK 1(150)
3	IAA 0(0)	CTK 2(300)
4	IAA 1(200)	CTK 0(0)
5	IAA 1(200)	CTK 1(150)
6	IAA 1(200)	CTK 2(300)
7	IAA 2(400)	CTK 0(0)
8	IAA 2(400)	CTK 1(150)
9	IAA 2(400)	CTK 2(300)

表 2 激素试验田间排列

Table 2 Field arrangement of Phytohormone experiment

项目 Item	田间试验排列 Field arrangement								
重复 I	1	2	3	4	5	6	7	8	9
重复 II	4	5	6	7	8	9	1	2	3
重复 III	7	8	9	1	2	3	4	5	6

2.3 数据获取与统计分析

2.3.1 生长量测定

生长量测定采用每木检尺法, 2005 年 7 月进行了本底调查, 2006 年 9 月底进行结果调查。据此计算树高、地径和冠幅生长量增幅, 即 (2006 年时的总生长量 - 2005 年时的总生长量) / 2005 年时的总生长量。

2.3.2 生物量测定

种群地上生物量测定采用平均标准木法, 地下生物量测定采用全挖法, 并据此计算生物量增幅。首先, 依据 2006 年实测生物量与其冠幅的回归关系求得 2005 年的生物量。然后, 计算生物量增幅

$$\text{生物量增幅} = (\text{2006 年生物量} - \text{2005 年生物量}) / \text{2005 年生物量}$$

2.3.3 效应方程的建立

根据试验结果进行回归分析, 即可得到激素效应方程:

$$Y = a + bI + cC + dI^2 + eC^2 + fIC \tag{1}$$

式中, a — f 均为待定系数, Y 为各产量指标, I 为生长素用量, C 为细胞分裂素用量。

依据这个方程, 采用降维法即可进行单因素及交互效应分析, 并求出最佳激素用量及其配比、激素合理用量区域、最低成本线。

3 研究结果

3.1 激素效应方程

由表 3 可见,树高、地径、冠幅生长量增幅与激素用量显著相关,种群生物量增幅与激素用量极显著相关。而且,两种激素对中国沙棘生长的作用具有交互效应。据图 1—图 4 可知,各生长性状指标的增幅对激素用量的响应规律呈钟形曲面。换言之,增幅达到最大值之前,生长性状指标的增幅随着激素用量的增大而上升;增幅达到最大值之后,生长性状指标的增幅随着激素用量的增大而下降。

表 3 生长性状指标与激素用量的回归关系

Table 3 Regression equations between growth traits index and Phytohormone dosage

生长性状指标 Growth traits index	激素效应方程 Phytohormone effect equations	<i>F</i>	<i>R</i> 相关系数 Correlation	<i>P</i> 显著水准 Significant level
树高增幅 Height increment	$Y = 17.179 + 0.26I + 0.41C - 0.0009I^2 - 0.002C^2 + 0.0003IC$	3.578	0.599	0.011
地径增幅 Ground diameter increment	$Y = 12.488 + 0.223I + 0.37C - 0.0006I^2 - 0.001C^2 - 0.0002IC$	2.96	0.404	0.017
冠幅增幅 Crown width increment	$Y = 11.689 + 0.168I + 0.348C - 0.0006I^2 - 0.001C^2 + 0.00002IC$	2.439	0.372	0.042
种群生物量增幅 Biomass increment	$Y = 12.543 + 0.318I + 0.317C - 0.001I^2 - 0.001C^2 - 0.0002IC$	10.63	0.903	0.000

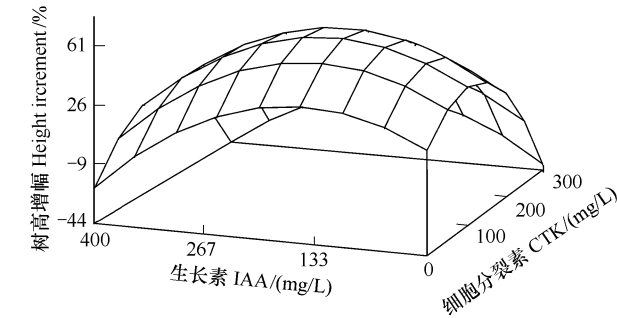


图 1 树高的激素效应曲面图
Fig. 1 Response surface plots of height

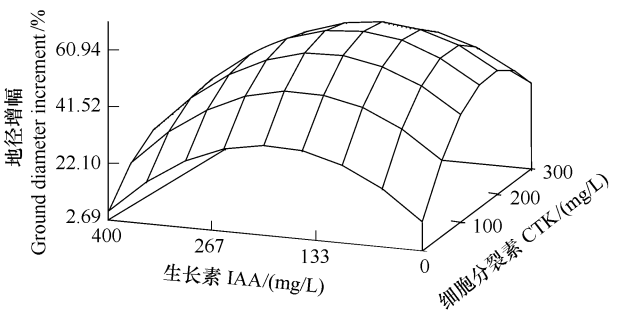


图 2 地径的激素效应曲面图
Fig. 2 Response surface plots of ground diameter

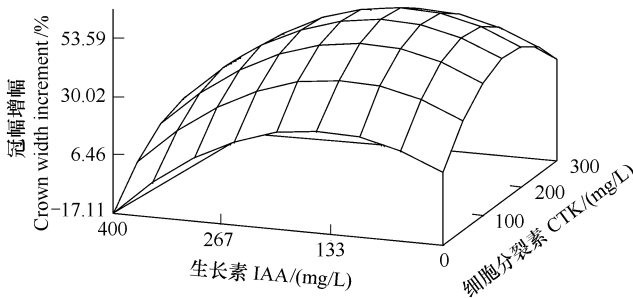


图 3 冠幅的激素效应曲面图
Fig. 4 Response surface plots of crown width

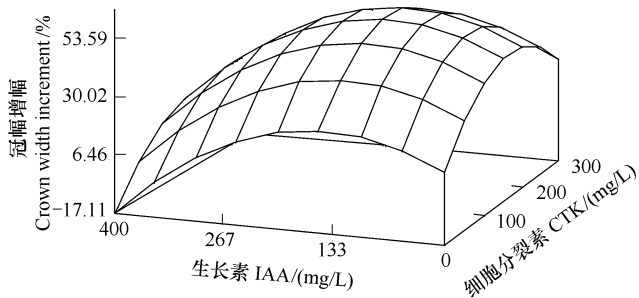


图 4 种群生物量的激素效应曲面图
Fig. 4 Response surface plots of population biomass

3.2 激素效应规律

3.2.1 单因子效应

由表 4 可见:各生长性状指标的增幅与单一激素用量的关系呈抛物线形式,即生长性状指标增幅随着激

素用量的增大先上升后下降。以树高生长量增幅与 IAA 的关系为例,单施 IAA 的树高生长量增幅最大值为 35.96%;树高生长量增幅达到 35.96% 之前,树高生长量增幅随着 IAA 用量的增加而上升;树高生长量增幅达到 35.96% 之后,树高生长量增幅随着 IAA 用量的增加而下降。由表 4 还可看出:单施 CTK 的效果要比单施 IAA 的效果明显。

表 4 生长性状指标单因素效应方程
Table 4 Single-factor effect equations of growth traits index

生长性状指标 Growth traits index	单因素效应方程 Single-factor equation	最大生长量 Highest growth increment/%	单因素效应方程 Single-factor equation	最大生长量 Highest growth increment/%
树高增幅 Height increment	$Y = 17.179 + 0.26I - 0.0009I^2$	35.96	$Y = 17.179 + 0.41C - 0.002C^2$	38.19
地径增幅 Ground diameter increment	$Y = 12.488 + 0.223I - 0.0006I^2$	33.21	$Y = 12.488 + 0.37C - 0.001C^2$	46.71
冠幅增幅 Grown width increment	$Y = 11.689 + 0.168I - 0.0006I^2$	23.45	$Y = 11.689 + 0.348C - 0.001C^2$	41.97
种群生物量增幅 Biomass increment	$Y = 12.543 + 0.318I - 0.001I^2$	37.82	$Y = 12.543 + 0.317C - 0.001C^2$	37.67

3.2.2 交互效应

对比表 4 和表 5 可知,CTK 和 IAA 配合施用的最大生长量增幅均明显高于单施 IAA 或单施 CTK 的最大生长量增幅,说明交互效应高于单因子效应。从表 5 还可看出,不同生长性状的增幅对两种激素配比的响应规律具有一定差异。其中,较高的 IAA 比例有利于促进树高生长,较高的 CTK 比例有利于促进地径和冠幅生长,而几乎相等的 IAA 和 CTK 用量有利于种群生物量积累。

表 5 生长性状指标交互效应分析
Table 5 Interaction effect analyzing of growth traits index

生长性状指标 Growth traits index	生长素最佳用量 The best amount of IAA /(mg/L)	细胞分裂素最佳用量 The best amount of CTK /(mg/L)	最佳比例 (生长素:细胞分裂素) The best ratio (IAA:CTK)	最大生长量 Highest growth increment /%
树高增幅 Height increment	163.57	114.77	1:0.70	61.97
地径增幅 Ground diameter increment	157.63	169.24	1:1.07	61.37
冠幅增幅 Grown width increment	142.92	175.43	1:1.23	54.21
种群生物量增幅 Biomass increment	144.60	144.04	1:1.00	58.36

3.2.3 全因子模拟试验

根据表 6 的数据可知,单施 IAA(处理 1、4、7)和单施 CTK(处理 1、2、3)情况下,随着激素用量的增大,各生长性状指标增幅均呈抛物线变化,其中以 IAA 或 CTK 中等用量时的生长量最大(分别为处理 4 和处理 2)。在两种激素配施(处理 5、6、8、9)情况下,也是以中等用量(处理 5)生长量值最大。其中,树高、地径、冠幅和生物量增幅分别比对照(处理 1)提高了 41.50%、47.60%、39.90% 及 42.65%,比单施中量 IAA(处理 4)提高了 25.50%、27.00%、30.30% 及 19.05%,比单施中量 CTK(处理 2)提高了 25%、14.6%、10.2% 及 17.6%。然而,高水平处理(处理 9)的生长量增幅最小甚至出现负增长。由此表明,适宜的激素用量对生长具有明显的促进作用,过多的激素用量对生长具有明显的抑制作用。而且,交互效应大于单因子效应。

3.3 激素最佳用量及最佳配比线

由生长性状指标的等产线图(图 5—图 8)和表 7 可见,每条曲线上任意一点虽然对应着不同的 IAA、CTK 用量却具有相等的生长量。反应曲面的顶点就是等产线图的圆心 O,即各生长指标的最高生长量,脊线 OA、OB 与坐标轴所包围的区域为合理激素用量区域。在一定的生产水平下,超出合理用量区域施用激素都不能

使生长量增加。其中,OP 线是一定激素价格约束下的最佳用量和最佳配比。

表 6 生长性状指标模拟试验结果
Table 6 Simulation test result of growth traits index

处理号 Treatment No.	生长素 IAA /(mg/L)	细胞分裂素 CTK /(mg/L)	树高增幅 Height increment/%	地径增幅 Ground diameter increment/%	冠幅增幅 Grown width increment/%	种群生物量增幅 Biomass increment/%
1	0	0	17.18	12.49	11.69	12.54
2	0	150	33.68	45.49	41.39	37.59
3	0	300	-39.82	33.49	26.09	17.64
4	200	0	33.18	33.09	21.29	36.14
5	200	150	58.68	60.09	51.59	55.19
6	200	300	-5.82	42.09	36.89	29.24
7	400	0	-22.82	5.69	-17.11	-20.26
8	400	150	11.68	26.69	13.79	-7.21
9	400	300	-43.82	2.69	-0.31	-39.16

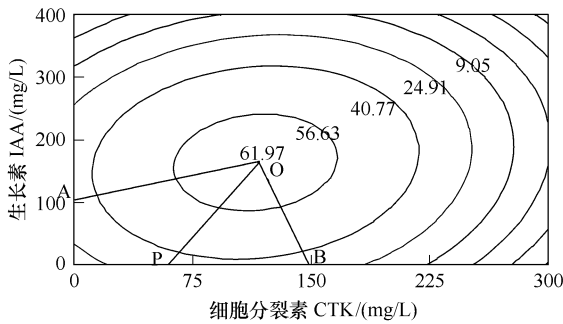


图 5 树高的等产线图
Fig. 5 Yield-equality lines of height

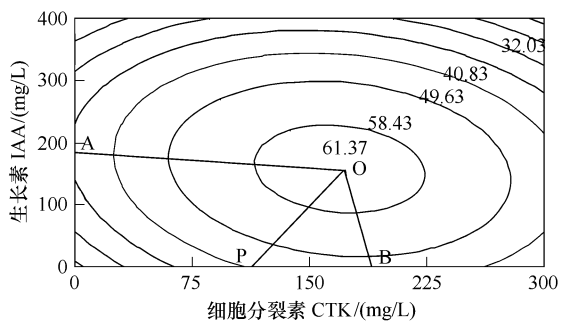


图 6 地径的等产线图
Fig. 6 Yield-equality lines of ground diameter

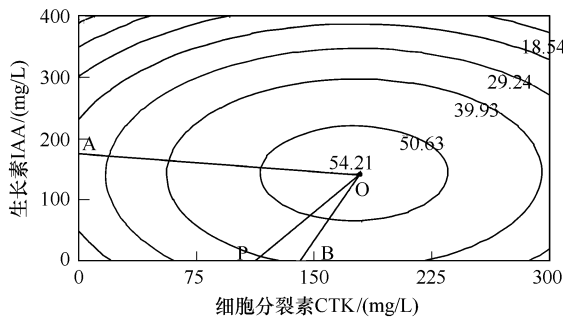


图 7 冠幅的等产线图
Fig. 7 Yield-equality lines of crown width

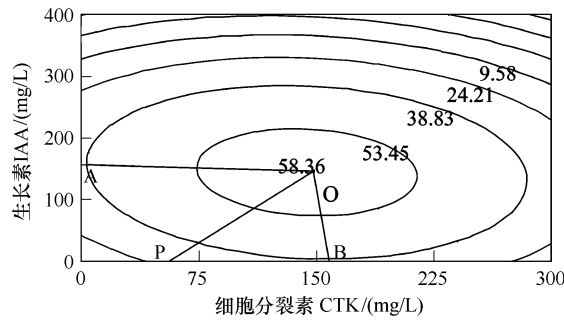


图 8 种群生物量的等产线图
Fig. 8 Yield-equality lines of population biomass

表 7 等产线图脊线切点和最佳配比线方程
Table 7 Cut-off points and op-curve equations of yield-equality lines plots

生长性状指标 Growth traits index	脊线切点(A、B点) Tangency point of ridgeline/(mg/L)		OP 线方程 OP-line	最大生长量(O点) Highest yield/%
	A	B		
树高增幅 Height increment	102.50	144.45	$C = 0.35I + 56.35$	61.97
地径增幅 Ground diameter increment	185.00	185.83	$C = 0.32I + 118.57$	61.37
冠幅增幅 Grown width increment	174.00	140.00	$C = 0.41I + 117.22$	54.21
种群生物量增幅 Biomass increment	158.50	159.00	$C = 0.61I + 56.25$	58.36

3.4 生长性状与克隆子株数量的关系

由相关分析结果可见(表 8),子株数量增幅与地径和冠幅生长量增幅呈极显著正相关、与种群生物量增幅呈显著正相关,树高与地径、地径与冠幅以及树高、地径、冠幅与种群生物量的增幅之间也表现出显著或极显著正相关。由此表明:适宜的 IAA 和 CTK 用量既可加速中国沙棘的营养生长,又能促进克隆子株的产生。

表 8 生长性状指标与克隆子株数量的相关分析
Table 8 Correlation coefficient between growth traits index and the amount of daughter ramet

生长指标 Growth index	检验参数 Test parameter	子株数量增幅 Daughter ramet amount	树高增幅 Height increment	地径增幅 Ground diameter increment	冠幅增幅 Grown width increment	种群生物量增幅 Biomass increment
子株数量增幅 Daughter ramet increment	Pearson Correlation Sig. (2-tailed)					
树高增幅 Height increment	Pearson Correlation Sig. (2-tailed)	0.326 0.392				
地径增幅 Ground diameter increment	Pearson Correlation Sig. (2-tailed)	0.805 ** 0.009	0.668 * 0.049			
冠幅增幅 Grown width increment	Pearson Correlation Sig. (2-tailed)	0.820 ** 0.007	0.623 0.073	0.952 ** 0.000		
种群生物量增幅 Biomass increment	Pearson Correlation Sig. (2-tailed)	0.707 * 0.033	0.763 * 0.017	0.905 ** 0.001	0.882 ** 0.002	

* * 极显著相关; * 显著相关

4 结论与讨论

喷施激素明显促进了中国沙棘的生长,单施细胞分裂素较单施生长素好,两种激素配施较单施效果更为显著,但并非激素用量越多就越好。换言之,中国沙棘生长对激素的响应呈钟形曲面或抛物线形式,随着激素用量的增加、生长指标增幅呈现先增加后减小的趋势,即各生长指标增幅均存在一个峰值。峰值以前,生长指标增幅随 IAA、CTK 用量的增大而提高;峰值以后,生长指标增幅随 IAA、CTK 用量的增大而下降。究其原因,植物对任何生态因子都具有一定的忍耐限度或范围,该生态因子只要接近或超过生物的忍耐限度或范围就会限制植物的生长,成为植物生长的限制因子^[37]。由此可见:中国沙棘生长指标增幅与激素用量之间的关系符合谢尔福德耐性定律,适宜的激素用量可以促进其生长、过高的激素用量反而抑制其生长。同时各个生长指标对两种激素不同比例的响应规律具有一定差异。其中,较高的 IAA 比例有利于促进树高生长,较高的 CTK 比例有利于促进地径和冠幅生长。这是由于 IAA 诱导细胞伸长、增大节间、增强顶生分生组织活动和顶芽生长^[1],从而促进了树高生长;CTK 增强细胞分裂和侧生分生组织活动、促进侧芽生长^[38],因此对地径和冠幅生长的作用表现更为突出。

克隆子株数量增幅与母株地径和冠幅生长量增幅呈极显著正相关,说明较高的 CTK 比例有利于克隆子株的产生。本研究结果还表明:在两种激素用量和配比适宜的情况下,种群生长潜力得到充分发挥,形成高大的个体、拥有较多的子株,有利于提高种群对生境资源的占据和利用,并提高排斥其他植物种类入侵的能力;当激素用量过高或过低时,中国沙棘以降低生长量为代价,形成矮小的个体,子株数量也相应减少,这样有利于削弱种群内个体之间的竞争。由此表明:在不同的激素用量和配比情况下,中国沙棘在克隆形态和克隆生长、尤其是构件生长和克隆繁殖之间做出权衡,从而形成不同的生态适应对策以提高种群的适合度。

上述规律从理论方面揭示了中国沙棘克隆生长调节的内在机制,但在生产实践中还需要确定适宜的激素用量及其配比。根据本研究结果,不同生长性状的合理激素用量区域使这个问题得到解决,在此区域内的激素用量和配比都能有效地促进中国沙棘的生长,超出该区域的激素用量都不能使生长量增加反而造成激素浪费。同时,在考虑激素投资成本的情况下,最佳施激素用量就不一定最经济。根据最佳配比线(OP 线)原理,只有当 IAA、CTK 用量落在 OP 线上时激素成本最低却可获得同样的生长量,即此时能以最小的代价获得最

大的效益。因此,生产者可以根据不同的培育目标以及激素的市场价格来确定用量和配比。经营果用林时,可在幼林期间增加 IAA 用量来促进树体生长发育,为将来的结实打下良好基础;经营防护林时,可加大 CTK 的用量以促进树冠生长发育并为加速克隆繁殖奠定基础,有利于发挥林分的群体效应。此外,在合理用量区选择激素用量和配比,不但可以降低成本、避免造成不必要的浪费,而且能够防止因用量过大而伤害林木,最终以最小的激素用量获得最大的效益。

References:

- [1] Pang R Z, Li L. Chemical control of plant growth and development. Guangzhou: Guangzhou High Education Press, 1995: 3-4.
- [2] Amarjit S B. Plant growth regulators in agriculture and horticulture. Oxford: Food Products Press, 2000: 89-93.
- [3] Went F W, Kenneth V, Thimann S. Phytohormones. New York: The Macmillan Company, 1937: 251-283.
- [4] Wang S G. Plant growth regulators and application method. Beijing: Jindun Press, 2003: 91-94.
- [5] Strauch. An alternative to CCC? Low concentrations are active in poinsettias. Gartnerborsen-und-Gartenwelt, 1989, 89(35): 1701-1706.
- [6] Ke X S, Li W. Hormones and aquatic plants: physiology, ecology and utilization. Acta Ecologica Sinica, 2006, 26(5): 1542-1549
- [7] Lu W L. Effects of exogenous hormones on in vitro regeneration of ovule and its sexual cell differentiation in *Hyacinthus Orientalis* L. Acta Botanica Sinica, 1994, 36(5): 325-330.
- [8] Sheng S J. Plant hormone and wood formation. Scientia Silvae Sinicae, 1996, 32(2): 165-170.
- [9] Wu J, Zhong J H, Xu K, Wei Q P, Wei Z P. Effects of exogenous GA-3 on fruit development and endogenous hormones in Fujiminori Grape. Journal of Fruit Science, 2001, 18(4): 209-212.
- [10] Zhai B N, Zheng X F, Yang Y R, Li S X. The research progresses of plant growth substances. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2003, 23(6): 1069-1075.
- [11] Luo X G, Dong M. Plasticity of clonal architecture in response to soil nutrients in the stoloniferous herb *Duchesnea indica* focke. Acta Ecologica Sinica, 2001, 21(12): 1957-1963.
- [12] Yue C L, Jiang H, Wei W. Comparative studies on the growth of *Acanthopanax brachypus* clone in two habitats of *Quercus liaotungensis* forest and open land. Acta Ecologica Sinica, 2001, 21(7): 1204-1207.
- [13] Zhang S M, Chen Y F. Clonal plasticity in response to partial neutral shading in the stoloniferous herb *Potentilla reptans* var. *sericophylla*. Acta Botanica Sinica, 2000, 42(1): 89-94.
- [14] He W M, Dong M. Ramets and genets in the tillering clonal herb *panicum miliaceum* in hierarchical response to heterogeneous nutrient environments. Acta Ecologica Sinica, 2002, 22(2): 169-175.
- [15] Slade A J, Hutchings M J. The effects of nutrient availability on foraging in the clonal herb *Glechoma hederacea*. Journal of Ecology, 1987, 75: 95-112.
- [16] Chen S, Wang G, Li Z Z. Branching pattern of *White Clover*. Pratacultural Science, 1995, 12(2): 35-40.
- [17] Chen S, Li Z Z, Wang G. The fundamental characteristics of the Wetlands in China. Chinese Journal of Ecology, 1997, 16(4): 59-63.
- [18] Watson M A. Integrated physiological units in plants. Trends in Ecology and Evolution, 1986, 1: 119-123.
- [19] Gao Z Y, Zhang Y S. The observation and investigation on the feature of root system of seabuckthorn. Journal of Beijing Forestry University, 1989, 11(4): 53-59.
- [20] Trajkovski V and Jeppsson N. Domestication of seabuckthorn. Botanica Lithuanica Suppl., 1999, 2: 37-46.
- [21] Li G Q, Tang D R, Zhao Y Q. The biological property and ecological habit of *Hippophae*. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2000, 20(5): 892-897.
- [22] Wu Q X, Zhao H Y. Seabuckthorn for the control of soil erosion in mountainous lands // Singh V ed. Seabuckthorn (*Hippophae* L.): A Multipurpose Wonder Plant. Vol. I. New Delhi: Indus Publishing Company, 2003: 401-408.
- [23] He B, Li G Q, Xu D B, Li T J, Ni J B. The clonal growth and its ecological significance of *Hippophae*. Journal of Northwest Forestry University, 2006, 21(3): 54-59.
- [24] Li G Q, Zhao F X, Li X Z, Wei Y. Density and biomass dynamics of *Hippophae rhamnoides* L. subsp. *sinensis* population in Mu Us Sandland. Scientia Silvae Sinicae, 2004, 40(1): 180-184.
- [25] He B, Li G Q, Gao H Y, Chen W H, Li G, Qiao W L, Ni J B. A comparison study on the clonal growth of *Hippophae rhamnoides* L. subsp. *sinensis* at different soil moisture condition. Journal of Yunnan University (Natural Sciences Edition), 2007, 29(1): 101-107.
- [26] Xu D B, Zhao F X, Li G Q, He B, Li T J. Response of clonal growth pattern of *Hippophae rhamnoides* L. subsp. *sinensis* to different irrigation

- intensities. *Journal of Northeast Forestry University*, 2008, 36(9): 31-32.
- [27] Pan J J, Price J S. Fitness and evolution in clonal plants; the impact of clonal growth. *Evolutionary Ecology*, 2002, 15: 583-600.
- [28] Zhang D Y. The evolution of plant life history and reproductive ecology. Beijing: Science Press, 2004: 61-64.
- [29] Li M. The mostly achievement of China seabuckthorn exploitation and utilization in 20 years. *Seabuckthorn*, 2005, 18(1): 1-6.
- [30] Silvertown J W. Introduction to plant population ecology. New York: Blackwell Scientific, 1982: 108-102.
- [31] Hu J Z. A study on fuzzy clusters and growth distribution laws of seabuckthorn roots. *Scientia Silvae Sinicae*, 1992, 1: 24-32.
- [32] Sen B R. Statistic of crop response to fertilizer. Rome, 1996, 95-103.
- [33] Qiang Z F, Chen Z Q. Experimental of modernization (III). *Science and Technology of Qinghai Agriculture and Forestry*, 1989, (3): 53-57.
- [34] Hoerl A E, Kennard R W. Ridge regression: Biased estimation for nonorthogonal problem. *Technometrics*, 2001, 12: 69-82.
- [35] Zhang Z Y, Jin Y Q. A study on setting up repetition and plot arrangement in the fertilizer test of regression design. *Journal of Shenyang Agricultural University*, 1990, 21(4): 301-304.
- [36] Mathematics department of Shanghai normal university ed. Regression analysis and experiment design. Shanghai: Shanghai Education Press, 1986: 74-78.
- [37] Li B. Ecology. Beijing: Higher Education Press, 2002: 15-16.
- [38] Zhu S X, Zhang Y. Application guide of common plant growth regulator. Beijing: Chemical Industry Press, 2002: 59-60.

参考文献:

- [1] 潘瑞炽,李玲.植物生长发育的化学控制.广州:高等教育出版社,1995: 3-4.
- [4] 王三根.植物生长调节剂与施用方法.北京:金盾出版社,2003: 91-94.
- [6] 柯学莎,李伟.激素对水生植物生理生态的影响及其应用.生态学报,2006,26(5):1542-1549.
- [7] 陆文樑.外源激素对风信子胚珠再生及其性细胞分化的影响.植物学报,1994,36(5):325-330.
- [8] 沈蕙娟.植物激素与木材形成.林业科学,1996,32(2):165-170.
- [9] 吴俊,钟家煌,徐凯,魏钦平,魏振林.外源 GA-3 对藤葡萄果实生长发育及内源激素水平的影响.果树学报,2001,18(4):209-212.
- [10] 翟丙年,郑险峰,杨岩荣,李生秀.植物生长调节物质的研究进展.西北植物学报,2003,23(6):1069-1075.
- [11] 罗学刚,董鸣.匍匐茎草本蛇莓克隆构型对土壤养分的可塑性反应.生态学报,2001,21(12):1957-1963.
- [12] 岳春雷,江洪,魏伟.辽东栎林下和开阔地上短柄五加无性种群生长的比较研究.生态学报,2001,21(7):1204-1207.
- [13] 张淑敏,陈玉福.匍匐茎草本绢毛匍匐委陵菜对局部遮荫的克隆可塑性.植物学报,2000,42(1):89-94.
- [14] 何维明,董鸣.分蘖型克隆植物黍分株和基株对异质养分环境的等级反应.生态学报,2002,22(2):169-175.
- [16] 陈尚,王刚,李自珍.白三叶分枝格局的研究.草业科学,1995,12(2):35-40.
- [17] 陈尚,李自珍,王刚.克隆植物生长型的研究进展.生态学杂志,1997,16(4):59-63.
- [19] 高志义,张玉胜.沙棘根系特性的观察与研究.北京林业大学学报,1989,11(4):53-59.
- [21] 李根前,唐德瑞,赵一庆.沙棘的生物学与生态学特性.西北植物学报,2000,20(5):892-897.
- [23] 贺斌,李根前,徐德兵,等.沙棘克隆生长及其生态学意义.西北林学院学报,2006,21(3):54-59.
- [24] 李根前,赵粉侠,李秀寨,韦宇.毛乌素沙地中国沙棘种群数量动态研究.林业科学,2004,40(1):180-184.
- [25] 贺斌,李根前,高海银,陈文宏,李贵,乔旺林,倪金碧.不同土壤水分条件下中国沙棘克隆生长的对比研究.云南大学学报(自然科学版),2007,29(1):101-107.
- [26] 徐德兵,赵粉侠,李根前,贺斌,李甜江.中国沙棘克隆生长格局对不同灌水强度的响应.东北林业大学学报,2008,36(9):31-32.
- [28] 张大勇.植物生活史进化与繁殖生态学.北京:科学出版社,2004: 61-64.
- [29] 李敏.中国沙棘开发利用20年主要成就.沙棘,2005,18(1):1-6.
- [31] 胡建忠.沙棘根系模糊聚类及生长分布规律的探讨.林业科学,1992(1):24-32.
- [33] 强中发,陈占全.农业现代化试验设计(三).青海农林科技,1989,(3):53-57.
- [35] 张中原,金耀青.回归设计肥料试验设置重复与小区排列的研究.沈阳农业大学学报,1990,21(4):301-304.
- [36] 上海师范大学数学系编.回归分析及其试验设计.上海:上海教育出版社,1986: 74-78.
- [37] 李博.生态学.北京:高等教育出版社,2002. 15-16.
- [38] 朱蕙香,张勇.常用植物生长调节剂应用指南.北京:化学工业出版社,2002: 59-60.