

不同密度山桐子苗木地下竞争和地上竞争的定量研究

贾晨¹, 王莎², 辜云杰¹, 钟志萍^{1,3}, 罗建勋^{1*}, 高洁¹, 李长安⁴

(1. 四川省林业科学研究院, 四川 成都 610081; 2. 西南林业大学, 云南 昆明 650000;

3. 西华师范大学, 四川 南充 637002; 4. 四川美东农业科技有限公司, 四川 成都 610081)

摘要: 利用通径分析方法, 对山桐子3种栽培密度条件下苗木的地下竞争和地上竞争的关系及对总竞争的影响进行了研究。结果表明, 山桐子苗木地下生物量、地上生物量和总生物量与栽植密度有明显的相关性。随着密度的减小, 苗木的生物量增加, 而各部分的竞争指数下降。同一密度, 地上竞争指数大于地下竞争指数。由于植株生长时各部分相互影响, 各竞争指数之间的相关性显著。但地下竞争和地上竞争对总竞争的影响存在着差异, 通径分析可定量的反映出各部分的相对大小。山桐子苗木的地上竞争对总竞争的直接作用为0.5536~0.6533, 明显大于地下竞争对总竞争的直接作用(0.4802~0.6228)。随着密度的降低, 地上和地下竞争对总竞争的直接竞争作用均增大, 但地上竞争占据主要作用。

关键词: 山桐子; 生长竞争; 地上竞争; 地下竞争; 定量研究

中图分类号: S722

文献标识码: A

文章编号: 1003-5508(2015)05-0011-05

A Quantitative Study of Below-and-above-ground Competitions of *Idesia polycarpa* Seedlings at Different Planting Densities

JIA Chen¹ WANG Sha² GU Yun-jie¹ ZHONG Zhi-ping^{1,3}

LUO Jian-xun^{1*} GAO Jie¹ LI Chang-an⁴

(1. Sichuan Academy of Forestry, Chengdu 610081, Sichuan, China;

2. Southwest China Forestry University, Kunming 650000, Yunnan, China;

3. West China Normal University, Nanchong 637002, Sichuan, China;

4. Sichuan Meidong Agricultural Science and Technology Co., Ltd, Chengdu 610081, Sichuan, China)

Abstract: To quantify the competition from above-and-below-ground plants, an experiment was conducted by use of seedlings of *Idesia polycarpa*. Path analysis was employed to study both the relationships between below-and-above-ground competitions, and their contribution to general competitions among individual seedlings at 3 different planting densities. The results showed that there were close relationships between below-ground biomass, above-ground biomass and total mass of *Idesia polycarpa* seedlings and the growing densities. With the decrease of the density, the seedling biomass increased while each part of the competition index fell. The above-ground competition index was greater than the underground at the same planting density. Due to the interactions between each part as the plants grew, the correlations among competition indexes were significant coefficients of path analysis at 3 planting densities, showing that the direct influence intensity of above-ground competition on general competition wafted from 0.5536 to 0.6533, significantly greater than 0.4802~0.6228 of the underground competition. With the decrease of

收稿日期: 2015-06-06

基金项目: 四川省“十二五”育种攻关课题-生物质能源树种新品种选育及配套栽培技术研究[2011N20098-10]。

作者简介: 贾晨(1989-), 硕士, 工程师, 主要从事森林培育与经营研究。

* 通讯作者: 罗建勋(1964-), 博士, 研究员, 主要从事森林遗传与树木改良研究。

the density ,the above-ground-and-below-ground competitions were intense ,however ,the above-ground competition had an important influence on the general competition.

Key words: *Idesia polycarpa* Maxim. ,growth competition ,above-ground competition ,below-ground competition ,quantitative study

在自然界中 ,不同植物生长在同一片地域 ,彼此之间就自然地产生竞争关系。而竞争被认为是对所有生物体的自然选择的一种重要动力 ,是推动生物进化的重要因素。植物间的竞争主要是对有效光合辐射、水分和各种重要的营养物质的竞争^[1]。植物间竞争的结果导致各个体生长量产生了一定的差异 ,差异大小与竞争强度有关。植株竞争可分为地上部分竞争和地下部分竞争 ,而两者之间的关系不是相互独立的 ,是复杂的相互影响的关系^[2]。植株地下根系对水分、营养物质的吸收影响着元素在植株各部位的分配 ,地上茎叶利用光合作用制造的有机物分配到各部分的数量同样导致生物量的不同^[3]。在植物竞争研究中 ,分离出地上竞争和地下竞争作用的相对大小和相对重要性 ,对揭示植物竞争机理有重要的理论意义。

山桐子 (*Idesia polycarpa* Maxim.) 木材松软 ,可供建筑、家具、器具等的用材; 为山地营造速生混交林和经济林的优良树种; 树形优美 ,果实长序 ,结果累累 ,果色朱红 ,形似珍珠 ,风吹袅袅 ,为山地、园林的观赏树种; 果实、种子均含油 ,被人们称为树上油库。山桐子是集碳汇树种、生物能源树种、高档木本食用油树种等多个优良特点为一身的重要树种。目前对山桐子树种的研究较多 ,包括资源开发利用^[4]、种实性状测定^[5]、杂交子代测定^[6]、生长特性分析^[7]等。这为山桐子的发展提供较好的理论指导 ,但目前尚未发现对山桐子在生长过程中的竞争关系的研究 ,因此对不同栽植密度的山桐子苗木进行了调查与测定 ,开展了本次研究。

本研究的主要目的是通过山桐子在不同密度下的栽植试验 ,采用通径分析方法计算出通径系数来定量地研究山桐子苗木地下竞争与地上竞争的关系以及两者对总竞争的影响程度。为山桐子育苗造林时科学地设置栽植密度、造林密度和提高苗木质量提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 栽培试验

研究地点设置在绵竹市玉泉镇山桐子繁育苗圃

基地。2014年3月下旬在苗圃基地中栽植当年新育幼苗 ,分5个小区 ,株行距 10 cm × 10 cm (150株) 、20 cm × 20 cm (100株) 、35 cm × 35 cm (50株) ,各重复4次。于2015年3月对每株进行编号 ,然后测定苗高、地径 ,将全部苗木整株挖出 ,分别称量根、茎、叶的鲜重。在每一小区选择5株各部分的生物量在85℃的恒温箱烘干至恒重 ,称各部分的干重 ,然后计算含水率。

1.2 竞争指数的计算

在研究林木竞争指数时 ,林木的生长指标可用于构建竞争指数 ,如生物量、胸径、树高、冠幅、等生长指标都可用于构建竞争指数 ,较大植株在竞争中往往占据较大的资源 ,采用 Weiner 干扰指数^[1]和山桐子苗木的生物量来计算竞争指数 ,并对山桐子苗木地上和地下部分之间的竞争关系进行探讨。

$$IR = \sum_{j=1}^n (MR_i/D_{ij}) \quad (1)$$

$$IC = \sum_{j=1}^n (MC_i/D_{ij}) \quad (2)$$

$$IT = \sum_{j=1}^n (MT_i/D_{ij}) \quad (3)$$

式中: IR 代表地下竞争指数; IC 代表地上竞争指数; IT 代表总竞争指数; MR 代表根系生物量; MC 代表地上部分生物量; MT 代表总生物量; i 代表第 i 株对象木; j 代表第 j 株竞争木; D_{ij} 代表对象木 i 与竞争木 j 之间的直线距离; n 代表竞争木的数量。计算时利用对象木最近的8株作为竞争木 ,如果对象木位于顶点时 ,则取距对象木最近的3株作为竞争木; 如果对象木是位于边缘但非顶点时 ,则取距对象木最近的5株作为竞争木。

1.3 通径系数

植物地上竞争与地下竞争的过程十分复杂 ,并且与竞争机制密切相关。植物地下部分生长对地上部分的生长具有重要的相关性 ,而且竞争过程不是独立的 ,因此 ,在建立生长 - 竞争模型时要考虑自变量因子间的相关性问题。通径分析用于处理多个变量与因变量之间的线性关系 ,可处理较为复杂的变量关系 ,且充分考虑了自变量间的相关性问题 ,是一种重要的分析方法^[8]。

在通径分析中,通径系数表示自变量对因变量直接影响效应的大小,可比较其相对重要性。在本文对山桐子的研究中,以总竞争指数为因变量,以地下竞争指数和地上竞争指数为自变量,计算出它们之间的通径系数,利用通径系数可定量地分析出山桐子地下竞争、地上竞争对总竞争的影响程度。

2 结果与分析

2.1 不同栽植密度下山桐子的生长指标与生物量

竞争是生物间相互作用的一个重要方面,其结果是导致了植株个体的发育差异。植株间的竞争大小与植株栽培的密度有关,密度是影响林木生长的重要因子。本试验研究表明,不同栽植密度条件下,山桐子苗木的苗高生长量、地径生长量、根生物量、茎生物量和叶生物量存在着明显的差异。随着栽植密度的减小,苗木的苗高、地径和生物量均有显著的增加,这导致了苗木地上生物量和地下生物量增加(见表1)。在3种栽植密度中,株行距由10 cm扩

大到20 cm时,苗高、地径、总生物量、茎生物量与叶生物量分别增加了10.03%、93.15%、53.32%、49.89%和67.70%。地下部分生物量增加(51.43%)低于地上部分(55.86%)。株行距由20 cm扩大到35 cm时,苗高和地下部分生物量有明显的增加,分别为31.34%和62.01%,这表明苗高和根系对密度变化的反应较为灵敏;而总生物量、茎生物量和叶生物量的增加量具有所减少,尤其是地径几乎没有增加量。表明竞争对植株的地上部分与地下部分的生长产生了一定的影响,但这种影响是在一定密度范围内才表现出来的,若超出了一定空间范围,苗木间的竞争作用减弱或不存在。在密度降低时(株行距35 cm),各生物量组成成分的变异增大(表1)。表明苗木间的竞争作用减弱的时候,个体间的生长差异会显现出来。在高密度时,生长空间、养分、光照接收面积和水分等外部因素是影响生物量分配的主要因素。低密度时,个体的内部因素如根系吸收养分和水分的能力、个体遗传差异等成为影响生物量分配的主要因素。

表1 不同密度山桐子生长性状与生物量指标

株行距 (cm)	苗高 (cm)	地径 (cm)	总生物量 (g)	地下生物量 (g)	地上生物量 (g)	茎生物量 (g)	叶生物量 (g)
10	63.08 ± 5.56A	0.73 ± 0.12A	26.22 ± 2.90a	11.81 ± 0.91a	14.41 ± 1.17a	9.58 ± 0.66a	4.83 ± 1.13a
20	69.41 ± 8.13B	1.41 ± 0.16B	40.20 ± 5.75b	17.74 ± 3.21b	22.46 ± 3.89b	14.36 ± 2.67ab	8.10 ± 2.26ab
35	91.16 ± 7.29C	1.42 ± 0.18B	59.89 ± 7.32c	28.74 ± 4.46c	31.15 ± 5.24c	21.22 ± 2.07b	9.93 ± 3.89b
平均	74.55 ± 13.98	1.19 ± 0.36	42.10 ± 15.22	19.43 ± 7.85	22.67 ± 9.38	15.29 ± 5.49	7.70 ± 3.23

注:表中小写字母为0.05水平上差异性水平;大写字母为0.01水平上显著性;数值为:平均值 ± 标准差。

不同密度条件下,地下生物量和地上生物量与总生物量存在相关或显著相关(表2)。在高密度(10 cm)或较高密度(20 cm)下,地下和地上生物量与总生物量的相关性达到显著性水平;但在低密度(35 cm)时,其相关性不显著。表明高密度对生物

量的分配及关系有较大的影响,而在低密度时,这种影响作用水平降低。不同密度条件下,地上生物量与地下生物量间的存在相关性但均未达到显著水平;但在平均条件下,地上与地下生物量间相关性达到极显著水平。

表2 不同栽植密度下山桐子生物量的相关系数

生物量	总生物量 (MT)	地下生物量 (MR)	地上生物量 (MC)
总生物量(MT)	1(a)	0.944*	0.953*
	1(b)	0.952*	0.939*
	1(c)	0.839	0.827
	1(d)	0.980**	0.980**
地下生物量(MR)	0.944*	1	0.833
	0.952*	1	0.788
	0.839	1	0.387
	0.980**	1	0.924**
地上生物量(MC)	0.953*	0.833	1
	0.939*	0.788	1
	0.827	0.387	1
	0.980**	0.924**	1

*. 在0.05水平(双侧)上显著相关; **. 在0.01水平(双侧)上显著相关。表中1(a)、1(b)、1(c)、1(d)分别代表株行距10 cm、20 cm、35 cm和平均条件下山桐子各部分生物量间的相关性。

2.2 不同栽植密度下山桐子的地上、地下与总竞争指数

根据竞争指数公式(1)、(2)、(3)分别计算出山桐子地下竞争指数、地上竞争指数和总竞争指数,结果表明不同栽植密度条件下,各竞争指数存在较大的差异(表3)。对同一竞争指数,随着密度的降低,其竞争指数明显减小。当株行距由10 cm扩大到20 cm时,总竞争指数减小了23.28%,地下竞争指数减小了24.58%,地上竞争指数减小了27.27%。当株行距由20 cm扩大到35 cm时,总竞争指数减小了14.54%,地上竞争指数减小了7.87%,地上竞争指数减小了20.54%。在同一密度条件下,地上竞争指数高于地下竞争指数,其中在株行距为10

cm时,地上竞争指数高于地下竞争指数23.38%,在株行距为20cm时高于20.54%,在株行距35cm时两者相接近,地上竞争指数平均高出地下竞争指数18.64%。简单相关分析表明(表4),地上竞争和地下竞争不是独立的,它们与总竞争之间存在着明显的相关性,这应是植株各部分生长相关性引起的。

表3 不同栽植密度下山桐子的指数

株行距 (cm)	总竞争指数 (IT)	地下竞争指数 (IR)	地上竞争指数 (IC)
10	2.62 ± 0.29a	1.18 ± 0.09a	1.54 ± 0.13a
20	2.01 ± 0.13b	0.89 ± 0.16b	1.12 ± 0.14b
35	1.71 ± 0.21b	0.82 ± 0.13b	0.89 ± 0.12c
平均	2.11 ± 0.46	0.96 ± 0.20	1.18 ± 0.30

注:表中大小写字母为0.05水平上差异性水平。

表4 不同密度的竞争指数的相关系数

竞争指数	总竞争指数 (IT)	地下竞争指数 (IR)	地上竞争指数 (IC)
总竞争指数 (IT)	1(a)	0.940**	0.953**
	1(b)	0.952**	0.942**
	1(c)	0.839*	0.822*
	1(d)	0.953**	0.970**
地下竞争指数 (IR)	0.940**	1	0.830*
	0.953**	1	0.796
	0.839*	1	0.380
	0.953**	1	0.882**
地上竞争指数 (IC)	0.953**	0.830*	1
	0.942**	0.796	1
	0.822*	0.380	1
	0.970**	0.882**	1

注:* 在0.05水平(单侧)上显著相关; ** 在0.01水平(单侧)上显著相关;表中1(a)、1(b)、1(c)、1(d)分别代表株行距10cm、20cm、35cm和平均条件下山桐子各部分生物量间的相关性。

2.3 地上竞争、地下竞争对总竞争的通径分析

对山桐子总竞争采取单变量的线性回归分析,其决定系数(R^2)可较准确的说明植株哪个部分在总竞争中所占的比例多少。在同时考虑到地上竞争和地下竞争对总竞争的相互作用时,则决定系数包含了地下竞争和地上竞争的共同作用(表5)。由表5可知,山桐子的总竞争主要来自地上竞争和地下竞争,平均97%左右。山桐子苗木的地下竞争和地上竞争对总竞争有直接或者间接的影响作用,但是从线性回归分析中的决定系数不能反映出地下竞争和地上竞争对总竞争有多少影响。

表5 不同密度下,山桐子苗木地上竞争、地下竞争与总竞争的回归分析

株行距 (cm)	回归方程	决定系数 (R^2)	PIR 值	PIC 值
10	IT = 0.152 + 1.125IR + 1.085IC	0.980	PIR < 0.017	PIC < 0.032
20	IT = 0.086 + 1.047IR + 0.864IC	0.970	PIR < 0.026	PIC < 0.021
35	IT = 0.040 + 1.096IR + 0.850IC	0.983	PIR < 0.008	PIC < 0.002
均值	IT = 0.084 + 1.011IR + 0.893IC	0.984	PIR < 0.000	PIC < 0.000

通径分析能够较好的反映各变量间的直接作用、间接作用及相互作用,且可以定量的分析山桐子苗木地上竞争和地下竞争对总竞争的影响大小(表6)。通径分析结果表明,同等密度条件下,山桐子的地上竞争对总竞争的直接作用大于地下竞争对总竞争的直接作用。其中山桐子苗木的地上竞争对总竞争的直接作用分布范围为0.5536~0.6533,地下竞争对总竞争的直接作用为0.4802~0.6228。这表明山桐子的苗木生长竞争中,地上部分竞争占据主要地位。在中高密度(10cm、20cm)时,地上竞争对总竞争的直接作用较为接近;但在低密度(35cm)时,直接作用就明显增大(通径系数为0.6533)。随着栽植密度的降低,地下竞争对总竞争的直接作用逐渐增大。在株行距10cm时,地上竞争的直接作用较大(0.5538,占58.11%),间接作用较小(0.3992,占41.89%);地下竞争中通过地上部分的间接作用(0.4598,占48.91%)略低于直接竞争作用(0.4802,占51.09%)。在株行距35cm时,地上竞争的直接作用增大(0.6533,占79.48%),间接作用减小(0.1687,占20.52%);地下竞争中通过地上部分的间接作用(0.2162,占25.77%)远低于直接作用(0.6228,占74.23%)。这表明在竞争中当某部分直接作用较大时其间接作用就较小。

表6 不同密度山桐子地下竞争、地上竞争对总竞争的通径系数

株行距 (cm)	指标	地上竞争 IC	地下竞争 IR	总竞争 IT
10	地上竞争 IC	0.5538	0.3992	0.9530
	地下竞争 IR	0.4598	0.4802	0.9400
20	地上竞争 IC	0.5536	0.3884	0.9420
	地下竞争 IR	0.4107	0.5423	0.9530
35	地上竞争 IC	0.6533	0.1687	0.8220
	地下竞争 IR	0.2162	0.6228	0.8390
平均	地上竞争 IC	0.5802	0.3898	0.9700
	地下竞争 IR	0.5124	0.4406	0.9530

3 结论与讨论

山桐子苗木的生长与栽植密度即空间距离有明显的相关性。试验表明,随着密度的减小,苗木的苗高、地径与生物量均明显的增加。在生长性状中,苗高和根系对密度变化的反应较为灵敏,这说明苗木生长竞争中,地下根系和地上苗高是竞争作用较直观的结果。密度对植株生长的影响是有限的,即在高密度时对生长影响大,在低密度时对生长影响小,

低于一定密度时对生长可能没有影响。苗木各部分的生物量之间的相关性分析表明,高密度对植株的生物量分配有较大影响,低密度时这种影响较小。

苗木的竞争指数随着密度的降低而减小,在不同密度时竞争指数之间的差异性显著。苗木的地下竞争指数、地上竞争指数与总竞争指数之间存在着显著性相关。同一密度情况下,苗木的地上竞争指数高于地下竞争指数,地上竞争在总竞争中占据着重要作用。这与闽楠生长竞争类似^[9],而与水曲柳生长竞争方式不同^[10]。通径分析可量化的分析山桐子苗木地上竞争和地下竞争对总竞争的影响大小。同等密度条件下,地上竞争对总竞争的直接作用大于地下竞争对总竞争的直接作用,这也和竞争指数的结果相同,表明地上部分竞争在总竞争中占据主要作用。随着密度的减小,地上和地下的直接竞争系数都增大,而间接竞争系数均减小。通径系数的变化反映了苗木的直接竞争作用和间接竞争作用的竞争状态,为有效地研究山桐子地上竞争和地下竞争提供了重要信息,同时也为科学地制定山桐子育苗与培育措施提供了理论基础。

参考文献:

- [1] Weiner J. Neighborhood interference amongst *Pinus rigida* individuals[J]. *Journal of Ecology*, 1984, 72(2): 183 ~ 195.
- [2] Aerts R R, Boot G A, van der Aert P J. The relation between above- and below-ground biomass allocation patterns and competitive ability[J]. *Oecologia*, 1991, 87(4): 551 ~ 559.
- [3] Casper B B, Jackson R B. Plant competition underground[J]. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 1997, 28: 545 ~ 570.
- [4] 周桂香, 吴方全, 李成焰, 等. 四川省广元市毛叶山桐子资源的开发利用[J]. *四川林业科技*, 2009, 30(3): 70 ~ 73.
- [5] 王大兵, 李新, 白杰建, 等. 毛叶山桐子优树种实性状变异初步研究[J]. *四川林业科技*, 2012, 33(5): 12 ~ 16.
- [6] 罗建勋, 陈建国, 高洁, 等. 毛叶山桐子 19 个半同胞家系子代苗期遗传测定评价[J]. *四川林业科技*, 2014, 35(2): 9 ~ 12.
- [7] 吴登高, 贾晨, 周云霞, 等. 毛叶山桐子生长特性的研究[J]. *四川林业科技*, 2015, 36(2): 27 ~ 31.
- [8] 赵丽英, 杨建伟, 张二芹, 等. 环境因子对盆栽刺槐苗木生理生长变化影响的通径分析[J]. *林业科学*, 2010, 46(4): 140 ~ 145.
- [9] 刘宝, 陈存及, 林思祖, 等. 不同密度闽楠苗木地上部分与地下部分竞争的定量研究[J]. *福建林学院学报*, 2013, 33(2): 119 ~ 123.
- [10] 王政权, 王军邦, 孙志虎, 等. 水曲柳苗木地下竞争与地上竞争的定量研究[J]. *生态学报*, 2003, 23(8): 1512 ~ 1518.

(上接第 10 页)

4.2 重庆市湿地生态服务价值与 GDP 比较

依据国内生产总值(GDP)核算制度和第 2 次全国经济普查结果,2013 年重庆市 GDP 初步核算总量为 12 656.69 亿元,2013 年湿地生态系统服务功能总价值为 481.34 亿元·a⁻¹,占重庆市 GDP 的 3.80%。

参考文献:

- [1] 李文华. 生态系统服务功能价值评估的理论、方法与应用[M]. 北京: 中国人民大学出版社, 2008: 311 ~ 312.
- [2] 翟金波, 田伟君. 滨海滩涂资源的开发历程及主要利用模式分

析[J]. *安徽农业科学*, 2010, 38(19): 10186 ~ 10188.

- [3] 张钢, 赵晶. 植物生态学指导下的湿地植物建设[J]. *山西农业科学*, 2009, 37(6): 59 ~ 61.
- [4] 崔丽娟, 宋玉祥. 湿地社会经济评价指标体系研究[J]. *地理科学*, 1997, 17(增刊): 446 ~ 450.
- [5] 国家林业局. 森林生态系统服务功能评估规范 LY/T1721-2008[S]. 2008.
- [6] 重庆市林业局. 重庆湿地资源调查报告[R]. 重庆市水利局, 2011.
- [7] 重庆市水利局. 重庆市水资源公报[R]. 重庆市水利局, 2010.
- [8] 谢高地, 鲁春霞, 成升魁. 全球生态系统服务价值评估研究进展[J]. *资源科学*, 2001, 23(6): 6 ~ 9.
- [9] Costanza R. The value of the world's ecosystem and natural capital[J]. *Nature*, 1997, 387(15):