

栽培密度对橡胶草生长和产量的影响

沈光^{1,2}, 魏殿文², 曾祥俊³, 郑福云², 陈菲², 李黎²

(1. 东北林业大学/森林植物学生态学教育部重点实验室, 黑龙江 哈尔滨 150040; 2. 黑龙江省科学院 自然与生态研究所, 黑龙江 哈尔滨 150040; 3. 黑龙江省科学院, 黑龙江 哈尔滨 150001)

摘要:橡胶草作为可替代橡胶树的优良天然橡胶资源之一, 前景可见, 为了促进橡胶草的应用, 采用田间单因素试验设计, 以俄罗斯的橡胶草优良品系 K445 为试验材料, 分别研究了栽培密度 15 cm×15 cm、20 cm×20 cm、25 cm×25 cm、30 cm×30 cm、35 cm×35 cm 对一年生橡胶草地上与地下部位的影响。结果表明: 当栽培密度为 25 cm×25 cm 时地上生物量最高。栽培密度也会显著影响橡胶草的橡胶含量, 当栽培密度为 20 cm×20 cm 及 35 cm×35 cm 时, 橡胶含量最大, 达到了 6.0% 以上。单株地下生物量会随着栽培密度的减少而增加, 最高达到 8.9 g, 而当栽培密度大于 20 cm×20 cm 时单位面积地下生物量不再增加, 最高为 152.2 g·m⁻²。当栽培密度为 30 cm×30 cm 时总糖含量最高, 为 46.8%。总糖产量与单位面积地下生物量表现一致, 最高为 64.8 g·m⁻²。当栽培密度为 20 cm×20 cm 时, 橡胶草单位面积橡胶产量最高, 达到了 9.4 g·m⁻², 而当栽培密度为 35 cm×35 cm 时, 橡胶草平均单株橡胶产量最高, 为 535.3 mg。根叶比随着栽培密度的减小而增大, 此时更多的生物量分配到地下部位。所以栽培密度 35 cm×35 cm 适合于橡胶草选种育种, 而栽培密度 20 cm×20 cm 适合于橡胶草大面积生产。

关键词:橡胶植物; 总糖含量; 橡胶含量; 橡胶产量; 生物量; 根叶比

中图分类号: S576; S359.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1002-2767(2017)10-0009-06 DOI: 10.11942/j.issn1002-2767.2017.10.0009

橡胶草 (*Taraxacum kok-saghyz*) 与银胶菊 (*Parthenium argentatum*)、杜仲 (*Eucommia ulmoides*) 一样均是优良的可替代的橡胶树 (*Hevea brasiliensis*) 天然橡胶资源, 它的根含有 2.89%~27.89% 的橡胶^[1-2] 及 25%~40% 的菊糖^[3], 现在世界上许多研究机构正在开展研究提高其橡胶产量以推进其产业化进程。

栽培密度无疑对任何作物的产量都非常重要。以往的研究认为当行距为 20~50 cm, 株距为 5~15 cm 时, 栽培密度越大, 橡胶草的产量越高, 但并不与密度恒成比例增长, 栽培密度过大时植株会变小, 同时有的研究认为栽培密度对橡胶草橡胶含量有显著影响, 而有些研究认为没有影响。同时为了适应实际生产中播种、除草机械的要求, 各地采取了不同的栽培密度, 如前苏联曾采用过 40~45 cm 的行距及约 10 cm 的株距, 美国曾采用过 35~40 cm 的行距, 株距则缩短到 3.7~

5.0 cm^[4]。但这些研究主要关注于栽培密度对橡胶产量的影响, 对地上生物量、菊糖含量, 及地上与地下生物量之间关系的研究相对较少。

本研究在哈尔滨的气候、土壤条件下进行不同密度栽培试验, 明确栽培密度对橡胶草生长和产量的影响, 为其栽培技术及育种实践提供理论支撑。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地点设在哈尔滨市哈南工业新城基地 (N45°34'59.9", E126°34'18.8")。温带大陆性季风气候, 年均气温 4.2 °C, 年降水量 532 mm, 土壤类型为河滩土, 其有机碳含量为 53.95 g·kg⁻¹, 总氮 2.04 g·kg⁻¹, 总磷 0.85 g·kg⁻¹, 总钾 26.40 g·kg⁻¹, 碱解氮 160.2 mg·kg⁻¹, 速效磷 76.9 mg·kg⁻¹, 速效钾 302.0 mg·kg⁻¹, pH6.78, 容重 2.56 g·kg⁻³。

1.2 材料

试验材料为橡胶草优良品系 K445, 引自俄罗斯全俄植物栽培所。

1.3 方法

1.3.1 试验设计 本研究采用了田间试验结合单因素随机区组设计, 根据前人资料并为了实际

收稿日期: 2017-08-18

基金项目: 黑龙江省科学院团队提升专项资助项目 (2014 ST06); 黑龙江省科学院预研资助项目 (YY20172R03); 哈尔滨市科技局应用技术与研发资助项目 (2014AE4AE053)
第一作者简介: 沈光 (1977-), 男, 吉林省白城市人, 博士, 副研究员, 从事植物生理与育种研究。E-mail: shen19772@163.com。

操作方便将橡胶草栽培密度设为5个处理(PD1~PD5),对应5个小区,分别为15 cm×15 cm, 20 cm×20 cm, 25 cm×25 cm, 30 cm×30 cm, 35 cm×35 cm,每个处理3次重复。

橡胶草优良品系 K445 于 2015 年 4 月中旬在温室中育种(温度 16~22 °C),7 月 1 日定植到大田中,此时植株长出 5~7 个叶片。

移栽前旋地、整地,深翻 30 cm,将土壤细细打碎,做床。每个试验小区为一床,东西朝向,宽 1.5 m,长 12 m,间距 40 cm。将橡胶草幼苗移栽到各个床中,栽培行间距为按照试验设计设置。将每个床均匀分成 3 个小区,即形成 3 个宽 1.5 m,长 4 m,面积 6 m²的小区,对应每个处理的 3 次重复。正常进行田间管理。

1.3.2 测定项目及方法 每隔 20 d 左右(分别为 7 月 17 日,8 月 6 日,8 月 25 日,9 月 8 日,9 月 24 日)随机选择 30 株植株测量冠幅、叶片数,监测地上生长状况。11 月初待地上部分枯萎后,将地下部分清洗干净后测定其生物量、橡胶含量和总糖及还原糖含量,最后取平均值作为每个处理的数据。

冠幅用直尺测量,东西、南北方向各测一个数值,精确到毫米,然后取其平均值;叶片数直接查;

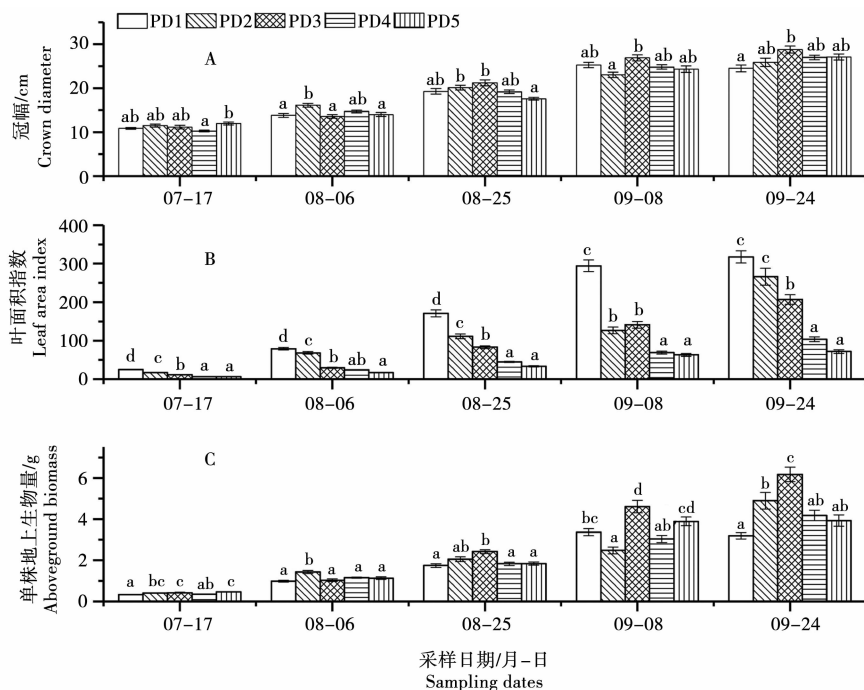
根样洗净后置于 80 °C 的干燥箱中烘干至恒重后直接用电子天平称量作为其干重。总糖、还原糖含量均采用蒽酮比色法测定^[5],橡胶含量采用傅立叶变换法测定^[6]。橡胶产量为单位面积或单株地下生物量与橡胶含量的乘积。叶面积指数=单位土地面积上所有叶片面积之和,地上生物量和叶片面积根据相关文献^[7]计算。橡胶产量=橡胶含量×地下干物质量,总糖产量=总糖含量×地下干物质量。

1.3.3 数据分析 采用 SPSS(版本 19.0)中的多因素(multivariate)法进行方差分析,采用 Turkey 法进行显著性检验和方差分析,用 Origin Pro(版本 9.0.0)作图。

2 结果与分析

2.1 栽培密度对橡胶草地上部位的影响

所有栽培密度处理的植株冠幅均随着生长时间的增加而增加,但增加速度逐渐放缓,尤其在 9 月 8 日以后,基本停止增长,生长初期只有处理 4 与处理 5 之间差异显著($P \leq 0.05$),随着生长的持续,各个处理之间差异显著性不断变化,最终表现为处理 1 与处理 3 之间差异显著,其它处理之间差异不显著($P \geq 0.05$),最终各个处理的平均植株冠幅在 24.5~28.8 cm,比生长初期增加了 2 倍以上(见图 1A)。



不同小写字母表示在 $P \leq 0.05$ 水平上差异显著。下同。

The different lowercase letter means significant difference at 0.05 level. The same below.

图1 栽培密度对橡胶草地上部分的影响

Fig. 1 Effects of plant densities on aboveground parts of Russian dandelion

所有栽培密度处理的叶面积指数均随着生长时间增加而增加,从生长初期一直到生长末期,各个处理的大小顺序始终基本一致,即处理 1 \geq 处理 2 \geq 处理 3 \geq 处理 4 \geq 处理 5,最终处理 1 与处理 2 的叶面积指数最大,分别达到了 317.6 及 266.0,处理 4 与处理 5 的叶面积指数最小,处理 1 比处理 5 大了 4 倍多,所有处理比生长初期增加了 10 倍以上(见图 1B)。

所有栽培密度处理的地上生物量随着生长时间增加而增加;生长初期,处理 3 和处理 5 的地上生物量最大,在生长过程中,虽然各个处理之间差异显著性有所变化,但最终处理 3 的地上生物量最大,显著大于其它处理($P\leq 0.05$),达到了 6.2 g,比生物量最小的处理 1 大 2 倍左右,但处理 1 仅与处理 2、处理 3 差异显著,与其它处理之间差异不显著,所有处理的生物量最终比生长初期增加了至少 8 倍以上(见图 1C)。

2.2 栽培密度对橡胶草地下部位的影响

处理 2 和处理 5 的橡胶含量最高,分别达到了 6.2%、6.0%,显著大于其它处理($P\leq 0.05$),处理 1 和处理 3 之间差异不显著($P\geq 0.05$),但均显著大于处理 4,处理 4 的橡胶含量只有 5.1%,约为处理 2 的 80%左右(见图 2A);处理 1 的还原糖含量最高,为 4.0%,显著大于其它处理,其次为处理 4,也显著大于其它处理,处理 2 和处理 3 之间差异不显著,处理 5 的还原糖含量最小,只有 1.7%(见图 2B);单株地下生物量基本随着栽培密度的增加而减少,处理 3 和处理 4 之间差异不显著,处理 5 的单株地下生物量最高,约为 8.9 g,比最低的处理 1(2.7 g)大 3 倍左右(见图 2C);处理 1、2、3 的单位面积地下生物量之间差异性不显著($P\geq 0.05$),在 136.0~152.2 g \cdot m $^{-2}$,均显著大于处理 4 和处理 5,最大处理(处理 2)与最小处理(处理 4)之间相差约 2 倍(见

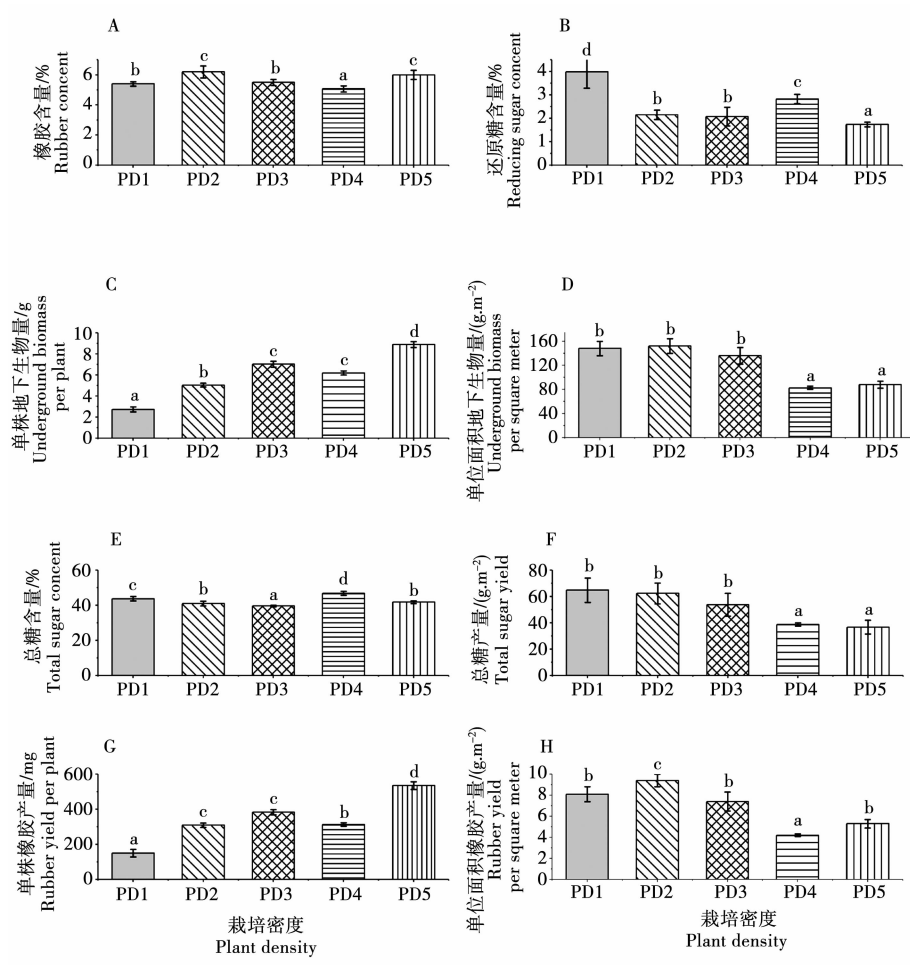


图 2 栽培密度对橡胶草地下部分的影响

Fig. 2 Effects of plant densities on underground parts of TK plants

图 2D);处理 4 的总糖含量最高,为 46.8%,其次为处理 1,处理 2 与处理 5 之间差异性不显著($P \geq 0.05$),处理 3 的总糖含量最低,为 39.6%(见图 2E);总糖产量与地下生物量表现一致,处理 1、2、3 的总糖产量最高,为 58.8~64.8 $\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$,它们之间差异性不显著,均显著大于处理 4 和处理 5,最大与最小之间相差 1.5 倍以上(见图 2F);单株橡胶产量基本随着栽培密度的增加而降低,处理 1 最低,为 149.7 mg,处理 5 最高,为 535.3 mg,比处理 1 高了 3.5 倍以上(见图 2G);处理 2 的单位面积橡胶产量最高,达到了 9.4 $\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$,处理 1、3、5 其次,它们之间差异性不显著,处理 4 的橡胶产量最低,仅为 5.3 $\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$ (见图 2H)。

2.3 栽培密度对橡胶草地上与地下生物量分配的影响

橡胶草的茎非常短并且不参与光合作用,这里将茎与根的生物量合在一起计算为根的生物量作为地下生物量,叶片生物量为地上生物量,所以根叶比可以代表地上与地下生物量分配的情况。由图 3 可知,随着栽培密度的减小,根叶比快速增大,比值从 0.86 增加到 2.26。

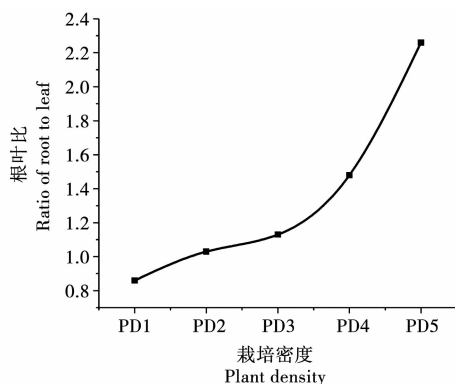


图 3 栽培密度对根叶比的影响

Fig. 3 Effects of plant densities on ratio of root to leaf

3 讨论与结论

3.1 讨论

3.1.1 栽培密度对橡胶草生长和产量的影响

尽管不同栽培密度在不同生长时期对冠幅的差异显著性有所变化,但最终只有处理 1(15 $\text{cm} \times 15 \text{ cm}$)与处理 3(25 $\text{cm} \times 25 \text{ cm}$)之间差异显著,而其它处理之间差异不显著,说明总体上栽培密

度对橡胶草的冠幅无显著性影响。叶面积指数是农业研究中尤其是植物生理和营养研究最重要的参数之一,它与植物的光合、呼吸作用息息相关^[8]。本研究中,叶面积指数随着栽培密度的增大而增大,说明栽培密度的改变并没有对橡胶草单株的叶片总面积造成显著影响,所以单位面积的植株数越多,叶面积指数越大。处理 3(25 $\text{cm} \times 25 \text{ cm}$)的地上生物量表现最好,当栽培密度逐渐增大或减小时呈逐渐降低趋势,说明适当的栽培密度才能提高地上生物量。

当栽培密度变化时,橡胶草橡胶含量也会产生明显变化,当栽培密度为 20 $\text{cm} \times 20 \text{ cm}$ 及 35 $\text{cm} \times 35 \text{ cm}$ 时,橡胶含量最大。以往的研究认为,株行距的变化不会对橡胶草的橡胶含量产生影响^[4],这也许和试验的不同品系有关,当品系的含胶量较大时,也许栽培密度不会对橡胶含量产生较大的影响,需要将来研究不同品系在不同地点的具体表现来进行明确。同时也可能是栽培密度的变化造成了橡胶草根在地下空间分布的变化,而土壤里营养在空间上分布是不同的,这样不同栽培密度橡胶草体内的营养会有所不同,导致橡胶含量发生变化。还原糖是植物体内碳水化合物的运转单元,也是呼吸作用的基质。有研究认为橡胶草在生长末期会将菊糖转化成还原糖和转化糖然后再转化成橡胶^[4],而本研究中橡胶草在栽培密度为 15 $\text{cm} \times 15 \text{ cm}$ 时还原糖含量最高,说明此时的栽培密度可能更有利于菊糖转化为还原糖。单株地下生物量基本随着栽培密度的减小而增加,由于随着栽培密度的减小每株植株获得的营养增多从而导致地下生物量增大;适当增大栽培密度可以提高单位面积地下生物量,当栽培密度大于 20 $\text{cm} \times 20 \text{ cm}$ 时,地下生物量不再增长。栽培密度对总糖含量也产生了影响,当栽培密度为 30 $\text{cm} \times 30 \text{ cm}$ 时,总糖含量最大,可能是由于单位面积土壤中的营养资源有限,由于栽培密度变化导致营养资源分配到每株植株的量发生变化而导致总糖含量发生变化,同时总糖含量的变化与栽培密度的变化没有呈现明显的规律性,可能是由于不同栽培密度总糖的组成发生了变化,所以还需要进一步研究才能明确栽培密度对总糖含

量的影响。由于总糖含量的变化不足以抵消地下生物量的变化,所以总糖产量的变化与地下生物量的表现一致。同理,橡胶含量之间的差异没有抵消地下生物量的变化,所以单株橡胶产量也基本与地下生物量表现一致。处理 2 (20 cm×20 cm) 的单位面积橡胶产量最高,密度过大或过小均会导致产量降低,当密度较小时,由于单位土地面积的植株有限不能充分利用土壤中的营养,导致单位面积的地下生物量会降低,产量会相应降低,相反当密度较大时,由于单位土地面积的植株过多竞争有限的营养,导致单株地下生物量降低,总体上就会降低单位面积的产量。本研究样地水肥条件好,所以 20 cm×20 cm 的栽培密度表现最好,而当不同地区土壤的水肥条件改变时,栽培密度也应随之改变才能获得最大的产量。在生产实践中,育种专家更关心单个植株的产量,做育种实验时将栽培密度设置为 35 cm×35 cm 更有利于单个优良品系的选育,而种植户更关心单位面积的产量,所以在生产实践中将栽培密度设置为 20 cm×20 cm 时更有利于充分利用土地资源,提高单位面积的产量。当栽培密度为 25 cm×25 cm 时,地上生物量最高,而当栽培密度为 35 cm×35 cm 时,单株地下生物量最高,这说明地上生物量与地下生物量不呈正向相关关系,这为橡胶草的选种、育种提供了一个理论参考。

3.1.2 栽培密度对根叶比的影响 栽培密度减少可以使生物量更多地分配到地下部位,说明橡胶草将更多的碳转移到了地下部位,增加根的生物量吸收更多的营养^[9-10],而当栽培密度较大时,由于地下部位(根)竞争更激烈,所以橡胶草选择分配更多的生物量到地上部位(叶片)中,增加光合作用单元,吸收更多的碳。本研究中没有发现根叶比的最大阈值,所以需要进一步减小栽培密度找到最大阈值。这同时也表明适当减小栽培密度有利于橡胶草的选种育种实践。

3.2 结论

适当的栽培密度(25 cm×25 cm)会提高地上生物量。栽培密度的变化会影响橡胶草的橡胶含量,当栽培密度为 20 cm×20 cm 及 35 cm×35 cm 时,橡胶含量最大。单株地下生物量会随

着栽培密度的增加而减少,主要是由于更多的植株竞争有限的资源而导致的。而当栽培密度大于 20 cm×20 cm 时,单位面积地下生物量不再增加,应该是由有限的营养资源只能供给有限的生物量生长。当栽培密度为 30 cm×30 cm 时,总糖含量最大,需要进一步分析总糖的组成才能明确栽培密度对总糖含量的影响。而总糖产量与地下生物量表现一致。当栽培密度为 20 cm×20 cm 时,橡胶草单位面积橡胶产量最高,而当栽培密度为 35 cm×35 cm 时,橡胶草平均单株橡胶产量最高。栽培密度减小时根叶比增大,此时更多的生物量分配到地下部位。所以栽培密度 35 cm×35 cm 适于橡胶草选种育种,而栽培密度 20 cm×20 cm 适于橡胶草大面积生产。

参考文献:

- [1] Mooibroek H, Cornish K. Alternative sources of natural rubber [J]. Appl Microbiol Biotechnol, 2000, 53 (4): 355-365.
- [2] Van Beilen J B, Poirier Y. Establishment of new crops for the production of natural rubber [J]. Trends in Biotechnology, 2007, 25(11): 522-529.
- [3] Polhamus L G. Rubber: Botany, Production and Utilization [M]. L. Hill; Interscience, 1962.
- [4] Whaley W G, Bowen J S. Russian dandelion (kok-saghyz): An emergency source of natural rubber [M]. US Department of Agriculture, 1947.
- [5] 薛应龙. 植物生理学实验手册 [M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1985.
- [6] 刘源博. 蒲公英橡胶草橡胶定量分析、橡胶提取及结构与性能表征 [D]. 北京: 北京化工大学, 2016.
- [7] Guang S, Wenjie W, Fei C, et al. Nondestructive leaf area and fresh weight estimation models for Russian dandelion and their sampling number [J]. 中国科技论文在线, 2016: 1-10.
- [8] Ghoreishi M, Hossini Y, Maftoon M. Simple models for predicting leaf area of mango (*Mangifera indica* L.) [J]. Journal of Biology and Earth Sciences, 2012, 2(2): B45-B53.
- [9] Poorter H, Niklas K J, Reich P B, et al. Biomass allocation to leaves, stems and roots: meta-analyses of interspecific variation and environmental control [J]. New Phytologist, 2012, 193(1): 30-50.
- [10] Evans G C. The quantitative analysis of plant growth [M]. Univ of California Press, 1972.

Effects of Plant Densities on Growth and Yield of *Taraxacum kok-saghyz*

SHEN Guang^{1,2}, WEI Dian-wen², ZENG Xiang-jun³, ZHENG Fu-yun², CHEN Fei², LI Li²

(1. Key Laboratory of Forest Plant Ecology, Ministry of Education, Northeast Forestry University, Harbin, Heilongjiang 150040; 2. Institute of Natural Resources and Ecology, Heilongjiang Academy of Sciences, Harbin, Heilongjiang 150040; 3. Heilongjiang Academy of Sciences, Harbin, Heilongjiang 150001)

Abstract: Russian dandelion is one of the most promising natural rubber resources which may take the place of rubber tree, has a bright future. Effects of plant densities (15 cm×15 cm, 20 cm×20 cm, 25 cm×25 cm, 30 cm×30 cm, 35 cm×35 cm) on growth of aboveground and underground parts and yield of Russian dandelion were analyzed by applying single-factor experimental design in a field and using elite cultivar-K445 introduced from Russia, the results showed that aboveground biomass was the highest when plant density for 25 cm×25 cm. Plant densities also affected rubber content of Russian dandelion significantly. And rubber content would get above 6.0% when plant densities for 20 cm×20 cm as well as 35 cm×35 cm. Underground biomass per plant increased with the decrease of plant density, and the highest reached 8.9 g. While underground biomass per unit area would not increase any more when plant density was over 20 cm×20 cm when it was 152.2 g·m⁻². When plant density was 30 cm×30 cm, total sugar content reached the highest point, namely 46.83%. Total sugar yield showed the same trend as underground biomass per unit area, the highest being 64.83 g·m⁻². When plant density was 20 cm×20 cm, rubber yield per unit area got the highest point, namely 9.4 g·m⁻². While plant density was 35 cm×35 cm, average rubber yield per plant was the highest, namely 535.3 mg. Ratio of root to leaf increased with the decrease of plant density, when more biomass were allocated to underground parts. Therefore, plant density, 35 cm×35 cm, is suitable for selection and breeding of Russian dandelion, while plant density, 20 cm×20 cm, is suitable for industrial production.

Keywords: rubber plants; total sugar concentration; rubber concentration; rubber yield; biomass; root/leaf ratio

欢迎订阅 2018 年《中国草地学报》

《中国草地学报》是由中国农业科学院草原研究所和中国草学会共同主办的国家级草学学术期刊,主要报道中国草学研究领域的新理论与重要成果,介绍新进展与发展动态,内容以草学基础理论研究和应用理论研究为主,兼纳高新技术研究和直接产生生态效益、经济效益的开发性研究,主要包括草原学、牧草学、草地学和草坪学等学科领域内有关草地与牧草资源、草地经营管理与改良利用、牧草遗传育种与引种栽培、牧草生理生化、草地建设与生态保护、草地生产与饲草料加工调制、草坪绿地、草业经济与可持续发展战略等。栏目主要有“专题报告”、“研究报告”、“综述与专论”、“研究简报”等。读者对象为从事草业科研、教学、生产和管理的专家、学者、院校师生、领导及业内中高级科技人员,也适合农学、畜牧学、林学、生态学、环境科学、地理科学等相关领域的科技人员阅读与参考。

本刊为中国草业领域创办最早的科技期刊,自 1979 年创刊以来先后荣获内蒙古、中国农业科学院、华北地区和全国农业等优秀期刊或优秀科技期刊奖 9 次,现为中文核心期刊、中国科技核心期刊、中国农业核心期刊、RCCSE 中国核心学术期刊、中国科学引文数据库来源期刊,并被《中国知网》、《中国期刊网》、《中国核心期刊(遴选)数据库》、《万方数据—数字化期刊群》、《中文电子期刊资料服务库》、《中国科技论文与引文数据库》等多种数据库及二次文献收录,自 2008 年以来影响因子已超过 1.000,2016 年在中国科技期刊 CSCD 影响因子 300 名排行榜中位居第 101 位。双月刊,大 16 开 A4 版本,120 页,国内外公开发售,每册定价 15.00 元,全年共 90.00 元。国内统一刊号 CN15-1344/S,国内邮发代号 16-32,全国各地邮局(所)均可订阅,错过订期可直接向本刊编辑部补订。

地址:呼和浩特市乌兰察布东街 120 号;邮编:010010;

电话:0471-4928361 电子信箱:zgcdxb@126.com