

综述·专论

蒲公英橡胶草橡胶的提取及其性能研究进展

卓杨鹏^{1,2}, 廖双泉^{1,2}, 廖小雪^{1,2*}, 张晨¹, 符波¹, 赵艳芳^{1,2}, 李万珍¹, 成泽南¹

(1. 海南大学 材料科学与工程学院, 海南 海口 570228; 2. 海南大学 热带岛屿资源先进材料教育部重点实验室, 海南 海口 570228)

摘要:介绍蒲公英橡胶草(简称橡胶草)的组成成分,综述橡胶草橡胶的提取方法、分子结构和性能,概括橡胶草橡胶的发展前景。橡胶草是菊科的多年生草本植物,其根茎含有大量橡胶组分。橡胶草橡胶提取法可分为胶乳提取法、固体胶提取法和胶乳/固体胶提取法。橡胶草橡胶为顺式聚异戊二烯。橡胶草橡胶制备有利于缓解我国天然橡胶资源的紧缺。

关键词:蒲公英橡胶草;天然橡胶;成分;提胶方法;结构;性能

中图分类号:TQ332.9

文献标志码:A

文章编号:1000-890X(2021)02-0154-06

DOI:10.12136/j.issn.1000-890X.2021.02.0154



OSID开放科学标识码
(扫码与作者交流)

21世纪以来,由于石油资源的大量消耗,污染气体的大量排放,用于生产合成橡胶的原料受到限制,而橡胶制品的需求和产量日益增大,这就要求天然橡胶的供应量不断增大,但由于三叶橡胶树橡胶产业存在诸多不足,如生产自动化程度低和不断上涨的劳动价格直接导致天然橡胶的生产成本不断升高^[1-2]。此外,全球气候变化异常导致天然橡胶产量不稳定,进而造成天然橡胶价格频繁波动,对下游产业的平稳运行造成了严重影响^[3-4]。东南亚天然橡胶树还受到南美枯叶病的威胁而影响天然橡胶产量^[5-7]。针对传统天然橡胶来源的限制以及石油资源的紧缺,寻求三叶橡胶树橡胶之外的可再生橡胶资源,实现天然橡胶的多元化生产成为全球的共识。蒲公英橡胶草(以下简称橡胶草)就是重要的产胶植物之一。橡胶草的价值不仅仅在于其根茎中含有较强抗过敏性的胶乳,更重要的是其植物组织中含有固体胶丝。从橡胶草中提取的橡胶为顺式聚异戊二烯,其相对分子质量与传统三叶橡胶树橡胶相近,因

此具有很好的发展前景。

前苏联率先对橡胶草橡胶展开了研究,到21世纪初,世界其他国家也开始大力开发橡胶草资源,美国在2007启动了“卓越计划”,主要对橡胶草橡胶产学研进行深入研究;日本因为土地资源受限也参与到“主卓越计划”中,目的是保证天然橡胶供应的稳定;欧盟在2008年4月成立了“欧盟珍珠计划”,以生物质能源和可再生橡胶为目标,对橡胶草橡胶展开深入探索;我国也不甘落后,2012年5月北京化工大学、山东玲珑轮胎股份有限公司以及中国热带农业科学研究院签订战略合作协议开发橡胶草橡胶,2015年4月,成立了中国蒲公英橡胶产业技术创新战略联盟,联盟集结了国内19家相关领域的力量,形成产学研一条龙产业链平台,此举为橡胶草橡胶产业开辟了一条全新的道路^[8-9]。

橡胶草因为其成长周期短、产量大、种植不受地区条件和气候条件限制、橡胶无蛋白过敏等优点,有可能逐渐成为替代巴西三叶橡胶树的产胶

基金项目:北京玲珑蒲公英科技发展有限公司横向课题(HD-KYH-2018269);海南大学大学生创新创业基金项目(10589)

作者简介:卓杨鹏(1995—),男,福建霞浦人,海南大学硕士研究生,主要从事天然橡胶基础改性研究。

*通信联系人(liaoxx26@163.com)

引用本文:卓杨鹏,廖双泉,廖小雪,等.蒲公英橡胶草橡胶的提取及其性能研究进展[J].橡胶工业,2021,68(2):154-159.

Citation: ZHUO Yangpeng, LIAO Shuangquan, LIAO Xiaoxue, et al. Research Progress on Extraction and Properties of Rubber from Dandelion Taraxacum Koksaghyz[J]. China Rubber Industry, 2021, 68(2): 154-159.

植物^[10]。本文对橡胶草的组成成分和橡胶草橡胶的提取方法、分子结构、性能进行综述,以期促进橡胶草橡胶产业的进步。

1 橡胶草的组成成分

橡胶草^[11-15]是菊科蒲公英属的一种多年生草本植物,主要分布在中亚、北美、欧洲以及我国的新疆、甘肃、陕西和东北、华北等地。橡胶草的橡胶成分主要存在于根部,橡胶草根为直根,略微肉质化。橡胶草根部长约540 mm,其最上端直径为5~8 mm,根部折断后在断口处出现胶丝,此为橡胶草最显著的特征。新鲜的橡胶草根折断或擦伤后会流出白色的胶乳,且根部的质量约为15 g,最高可达150 g,其中水分质量占根部总质量的3/4,提取出来的橡胶质量分数为0.028 9~0.178 9。目前我国种植的橡胶草根所含橡胶质量分数为0.02~0.05,而国外用于工业提胶的橡胶草根部含量要高于我国。

由于受气候、温度、雨水等自然条件的影响,世界各地的橡胶草植株也有所差别,其根部橡胶含量也相差巨大。为了提高橡胶草的利用价值和产胶量,国内外专家学者对橡胶草根化学组成进行了深入的研究分析,在橡胶草品种优选、生长优化、橡胶提纯等方面取得了显著的进展^[16-17]。

刘源博^[18]采用索氏抽提法分别用水、乙醇、丙酮、乙酸乙酯及甲苯对已研磨成粉粒状的橡胶草干根进行提取和分析,发现水抽提物质量分数为0.581,说明橡胶草中大部分物质可溶于水中,乙醇抽提物质量分数为0.016,丙酮抽提物质量分数为0.006,乙酸乙酯抽提物质量分数为0.029,最后经甲苯抽提而制得的橡胶质量分数为0.010 5,这也说明了橡胶草根橡胶含量较低,需要后期的品种优选和遗传育种等技术来提高产胶率。

刘根实^[19]对橡胶草根部的组织结构及其成分进行研究,发现橡胶草的胶丝大部分集中于多年生橡胶草的根皮和根瓢的组织部分,但在根髓组织之中却未发现胶丝。通过分析橡胶草根组织的成分,发现橡胶草根除了含有18%~28%的橡胶和树脂外,还含18%~28%的综纤维素、12%~22%的木质素、17%~27%的水溶性糖以及7%~27%色素等物质。

李卓等^[20]对已干燥后的橡胶草根部的水分含量、灰分含量、丙酮抽提物含量、综纤维素含量、 α -纤维素含量、木质素含量进行了测定,发现橡胶草根含水率为9.32%,灰分质量分数为0.101 5,丙酮抽提物质量分数为0.161,综纤维素质量分数为0.267 9, α -纤维素质量分数为0.180 7,木质素质量分数为0.120 5;对橡胶草的灰分进行X射线衍射分析,发现橡胶草中含有较多的C,O,K,Mg,P,Si,Ca,Cl和S等元素。

A. Ramirez-Cadavid David等^[21]对橡胶草根部的总固形物、灰分、蛋白质、粗脂肪、脂肪酸、碳水化合物、木质素及水分、丙酮和己酮抽提物进行了定量表征。结果表明,橡胶草根橡胶质量分数为0.054,蛋白质质量分数为0.05,脂肪酸质量分数为0.052(其中亚油酸、棕榈酸和亚麻酸含量较高),丙酮质量分数为0.017,约60%物质能溶于热水中,其中可溶性糖质量分数为0.32(其中菊糖质量分数为0.18,蔗糖质量分数为0.10)和可溶性蛋白质质量分数为0.10,不溶性成分纤维素(葡聚糖)质量分数为0.09,半纤维素(木聚糖、甘露聚糖、阿拉伯聚糖、半乳糖)质量分数为0.07,木质素质量分数为0.05,果胶质量分数为0.03。

王燕飞等^[22]采用索氏抽提法从橡胶草中提取聚异戊二烯以及使用裂解气相色谱法对橡胶草抽提物组分分析,发现抽提物主体成分为聚异戊二烯。再经质谱法对橡胶草化学组分分析,从抽提物中可以分离出39种成分,其主要成分包括环阿屯醇、烷基取代物及酯化物,一定量的饱和和不饱和脂肪酸及酯化物,少量的谷甾醇、羽扇豆醇、乙酸羽扇醇酯及香树素,平均橡胶烃质量占橡胶草质量的12.39%。

梁素钰等^[23]总结了影响橡胶草胶乳品质的几个因素:橡胶草产胶量和橡胶质量与其品种和遗传紧密联系;采集时间、温度和肥料会影响橡胶草橡胶的相对分子质量;提胶方法和分离技术的差异会导致胶乳的总固形物含量、干胶含量和胶粒粒径等有所差别,进而改变胶乳的挥发脂肪酸值、粘度、热稳定性和机械稳定性等。

2 橡胶草橡胶的提取方法

目前,随着对橡胶草研究的深入,提胶方法多

种多样,提胶技术也越来越完善,橡胶草橡胶的提取方法可分为胶乳提取法、固体胶提取法以及胶乳/固体胶混合提取法。

2.1 胶乳提取法

A. U. Buranov等^[24]采用韦林混合法提取胶乳,取20 g采集两天内的橡胶草冷冻根切成0.5 mm的细段,在3 min之内放入加有90 mL低温缓冲液(由质量分数分别为0.001和0.02的 Na_2SO_3 溶液和 NH_3 溶液以及水组成)的韦林氏混合器内,进行30 s搅拌后浆液用无滤纸的网状布氏漏斗进行抽滤,并再次将根段放入缓冲液中研磨、抽滤,将滤液进行离心后,得到上层胶乳,此处理方法较为繁琐。流动法提取胶乳须将采集两天内的橡胶草根冷冻后切成5 mm的小段,在3 min内放入500 mL低温缓冲液(质量分数分别为0.001,0.002和0.001的 Na_2SO_3 溶液、 NH_3 溶液和酪蛋白溶液以及水组成)中,在室温下摇晃30 min后,将浆液倒入锥形瓶中,再将根段放入500 mL的缓冲液中摇晃30 min,重复3次,离心处理溶液用玻璃吸管和橡胶填料收集乳胶层。相对于混合法,此方法提取时间较长,但提取出来的胶乳较为纯净,无需过滤根渣,操作简单,可行性高,有望在工业生产中得到应用^[25]。

2.2 固体胶提取法

将橡胶草干根用粉碎机粉碎成粉状,取5 g样品放入100 mL丙酮进行抽提,在室温下磁力搅拌3天,用布氏漏斗进行抽滤,去除丙酮提取物,在粉末根中加入氯仿或其他非极性溶剂,震荡抽提24 h,将提取的橡胶溶液进行水浴旋转以蒸干溶剂,烘干后获得橡胶^[26]。此方法需要大量有机溶剂,若投入到实际生产中会对环境产生一定影响。

刘根实^[19]利用橡胶可溶于其良溶剂的特点设计出一种提胶工艺:首先将干燥的橡胶草根进行粉碎,并在100 ℃的蒸馏水中抽提根部中的菊糖,去除菊糖后,将碎根与甲苯置入三口烧瓶中并加热至沸点抽提1 h,用纱布过滤出上层清液并进行离心处理,分离出的上层橡胶溶液进行汽提后干燥,即制得橡胶。该方法简单易行,有望在实际生产中得到应用,但由于缺少提纯步骤,所得橡胶含有较多的杂质,且使用大量有机溶剂会对环境

造成影响。

王燕飞等^[22]将干燥的橡胶草根放入质量分数为0.1的NaOH溶液中进行超声破碎,超声后的样品进行离心,去除上清液,加入蒸馏水继续离心,直至离心处理溶液pH值为7,将样品干燥后用乙醇进行索氏提取,提取叶绿素等杂质,样品干燥后再用有机溶剂进行索氏抽提,将提取的橡胶溶液进行水浴旋转以蒸干溶剂,得到橡胶。此种方法操作较为复杂,且只能提取少量橡胶,但提取的橡胶纯度高,杂质含量较小,可实现少量溶剂循环利用,节约成本。该方法的操作步骤需改进。

罗士苇等^[12]采用抽提法和碱煮法测量橡胶草橡胶含量,发现抽提法与碱煮法提胶的差异。抽提法提取的橡胶较纯净,不含氮类化合物和灰分等物质,而且所含的C和H质量分数分别为0.871 0和0.125 4,与理论值接近;而碱煮法提取的橡胶纯度较低,苯不溶性物质质量分数为0.899 0,这种杂质的含量正好补偿了未提出的橡胶量,因此其干胶含量与抽提法相差不大。试验还将干燥的碎根放入体积分数为0.01的硫酸中压力回流蒸煮3 h,取滤渣,经丙酮回流蒸煮12 h后,用氢氧化钾的酒精溶液皂化并过滤,最后用苯蒸煮16 h,80 ℃下干燥24 h至恒质量,得到橡胶。

李增贵等^[27-28]认为碱煮法相对较为粗糙,因此对碱煮法的每个步骤进行详细剖析,并且提出用溴化法(质量)来替代,还对溴化法、直接抽提法和间接测定法测试橡胶草橡胶含量进行了比较,发现溴化法测试精确度较直接抽提法和间接测定法高,且测试时间短。

2.3 胶乳/固体胶混合提取法

首先将橡胶草用热水浸泡以便于获得根部组织,然后用热压机制成粗胶片,之后在苯中进行抽提,可以获得胶乳与固体胶组成的混合胶。此方法工艺流程简便,但耗时较长,且橡胶含有较多杂质,仍需进一步进行提纯。A. U. Buranov等^[24]提出绿色提胶法,即将干燥的橡胶草根进行机械粉碎,粉碎时会出现块状的胶团,之后用振动筛将胶团与草根组织分离,胶团放入热水中进行纯化,此法不使用有机溶剂,不用长时间的萃取,节省时间和人力,减少有毒药品的使用,值得进一步研究。

杜春晏等^[26]对橡胶草根部分采用12 h热水浸渍以分开木质部和韧皮部,随后用热压机将韧皮部压成粗胶片,然后用苯浸渍。用此法得到的橡胶草橡胶平均质量分数为0.274 8,并发现根部质量越小,胶含量越高。

2.4 其他提胶方法

刘根实^[19]对溶剂法提胶、水基法提胶以及酸碱法提胶工艺进行研究,并且确定出溶剂法提胶的最佳工艺条件,还总结了绿色水基法的要点。目前通过水基法提取出的橡胶草橡胶纯度高达91.4%;通过酸碱法所得橡胶纯度可高达94.0%,并且能够有效控制综纤维素和木质素含量。

A. Ramirez-Cadavid David等^[29]研究建立了一种准确、重现性好、高效的多溶剂加速剂抽提法测定橡胶草根部分橡胶、树脂和菊粉含量的方法。此方法分别用水、丙酮及己烷抽提菊糖和糖类、树脂及橡胶,对根部制备工艺和抽提次数、橡胶提取温度和时间及试样质量进行了确定。根部研磨后其粒径需小于2 mm,使用250 mg的试样可以提高树脂和橡胶的回收率,但不能提高水的抽提性。因此,这种自动化多溶剂方法提高了橡胶草根部分橡胶、菊糖和树脂定量测试的准确性、重复性和速度,有利于提高橡胶草的育种策略和加工评价。

3 橡胶草橡胶的分子结构和性能分析

三叶橡胶树橡胶为顺式聚异戊二烯,而橡胶草橡胶同样为顺式聚异戊二烯,但它们的存在形式和性能有很大差别。国内外科研工作者对橡胶草橡胶的分子结构和性能做了相关的研究报道。刘源博^[18]采用转酯化、相对分子质量分级、核磁测定方法对橡胶草橡胶端基结构做了初步分析。首先通过转酯化处理后的橡胶草橡胶的相对分子质量并不像三叶橡胶树橡胶那样大幅度下降,这说明橡胶草橡胶并不像三叶橡胶树橡胶那样有较多酯作为交联点的交联结构,这也很有可能是导致橡胶草橡胶力学性能较差且无拉伸结晶的原因。对相对分子质量分级处理后所获得的低相对分子质量橡胶进行核磁测定,结果并未发现橡胶草橡胶分子存在端基结构,但其总体的端基核磁谱与三叶橡胶树橡胶分子相似。

P. Junkong等^[30]将硫化交联的三叶橡胶树橡胶与合成异戊二烯橡胶进行比较,并对橡胶草橡胶的动态力学性能和应变结晶行为进行分析,提出了橡胶草橡胶的非橡胶组分具有物理聚合的高阶结构。研究表明,在橡胶草橡胶体系中柔软的团聚物加速了橡胶分子链的取向。橡胶草橡胶中的非橡胶组分,尤其是蛋白质,在拉伸开始时加速应变诱导结晶行为,但随着拉伸的进行,阻碍了橡胶分子的取向,导致应变诱导结晶的发育程度较低。正是橡胶草橡胶中各非橡胶组分间的物理相互作用较弱,橡胶草橡胶才具有应变结晶行为。

J. B. Beilen等^[31]对三叶橡胶树、橡胶草、银胶菊3种产胶植物的胶乳含量、相对分子质量、总年产量以及平均年产量进行了研究,结果表明,橡胶草胶乳质量约占橡胶草质量的30%,其橡胶相对分子质量为2 180。对比分析可知,橡胶草橡胶的相对分子质量较大,橡胶草胶乳含量远高于银胶菊,与三叶橡胶树相当,但胶乳的年产量和平均年产量远低于三叶橡胶树。因此,若能通过品种优选和遗传育种等农业技术来提高橡胶草生物量,提高橡胶含量,橡胶草橡胶将有望作为战略资源而成为三叶橡胶树橡胶的补充。

对橡胶草、银胶菊以及三叶橡胶树橡胶的非橡胶组分进行对比分析可知,橡胶草和银胶菊橡胶的灰分、乙醇胺抽提物和丙酮提取物含量均高于三叶橡胶树橡胶,三者的污染物含量相差不大,均较低;但橡胶草和银胶菊橡胶的门尼粘度较低^[32]。

硫化天然橡胶最重要性质是具有较大的拉伸强度和优异的耐龟裂性能,表现为应力诱导结晶行为。应变诱导结晶行为是天然橡胶自备的功能。Ikeda Yuko等^[33]采用广角X射线衍射技术,在橡胶草和银胶菊橡胶拉伸变形过程中对其应变诱导结晶行为进行测量。结果表明,橡胶草橡胶应变诱导结晶的性能与三叶橡胶树橡胶相当,硫化银胶菊橡胶比硫化橡胶草橡胶具有更大的拉伸方向微晶尺寸。S. Musto等^[34]发现橡胶草橡胶在未进行拉伸处理前,可通过调节温度和压力使其产生诱导结晶,发生该现象可能是由于存在成核的饱和脂肪酸组分,这与完全无定形橡胶所表现出的拉伸前后结晶和取向度差异导致应力-应变行

为差异有很大不同。

刘源博^[18]对三叶橡胶树橡胶、橡胶草橡胶、合成顺式聚异戊二烯橡胶及其炭黑胶料进行对比分析可知,橡胶草橡胶的炭黑胶料硫化性能和力学性能均比三叶橡胶树橡胶的炭黑胶料差,但与合成顺式聚异戊二烯橡胶的炭黑胶料相差不大;三叶橡胶树橡胶存在明显的拉伸结晶现象,而橡胶草橡胶和合成顺式聚异戊二烯橡胶则不存在拉伸结晶现象。

4 结语

橡胶草是一种多用途的植物资源,其枝叶具有药用价值,也可泡水服用^[35];其植株含有丰富的可溶性糖,可供提取使用;在提取橡胶后,剩余的废渣还可用于发酵,制取生物乙醇^[36-37]。当前国内外研究已经证实,用橡胶草根部分提取出的橡胶物理性能与三叶橡胶树橡胶相似,普遍认为橡胶草橡胶可缓解三叶橡胶树橡胶供应不足的问题。橡胶草从播种至收获只需1年,产胶周期短,若能成功地将其转化为可持续的天然橡胶来源,可缓解天然橡胶紧缺的威胁。我国若要大力发展橡胶草橡胶,需加快引进品种优良的橡胶草进行种植,并通过栽培,筛选出性能好的橡胶草品种^[38],有效提高含胶量。

橡胶草橡胶因其独有的优势以及未来发展的良好前景,近年来德国大陆集团、日本普利司通公司和邓禄普公司、美国福特汽车公司以及国外许多大学和科研机构纷纷开始对橡胶草种植、提胶及橡胶草橡胶应用进行深入研究^[39-41]。我国也成立了中国蒲公英橡胶产业技术创新战略联盟,加紧对橡胶草橡胶的研究,努力缩小与欧美的差距^[42]。可以肯定的是,在全球倡导非化石资源化和绿色化以及天然橡胶资源供不应求的大时代背景下,橡胶草橡胶的重要性日益突出,其将会受到广泛的关注和推广。

参考文献:

- [1] 张立群,张继川,王锋,等.全球天然橡胶发展趋势及我国多元化发展之路[J].中国橡胶,2013,29(21):18-20.
- [2] 何映平.天然橡胶加工学[M].海口:海南出版社,2007.
- [3] 王进泰.当前天然橡胶市场主要矛盾分析[J].现代经济信息,2016(1):347-348.
- [4] 邓雅俐.新时代中国橡胶工业的机遇、挑战和作为[J].中国橡胶,2018,34(4):6-13.
- [5] 张霖,刘进平.巴西橡胶树死皮病相关基因与蛋白质研究进展[J].热带生物学报,2015,6(3):347-352.
- [6] Warren-Thomas E, Dolman P M, Edwards D P. Increasing Demand for Natural Rubber Necessitates a Robust Sustainability Initiative to Mitigate Impacts on Tropical Biodiversity [J]. Conservation Letters, 2015(8):230-241.
- [7] Beilen J B, Poirier Y. Guayule and Russian Dandelion as Alternative Sources of Natural Rubber[J]. Critical Reviews Biotechnol, 2007, 27: 217-231.
- [8] 李静萍.生物基橡胶材料示范项目启动[J].橡胶工业,2018,65(1):24.
- [9] 赵佳.我国蒲公英橡胶商业化开发进入快车道[J].中国橡胶,2015,31(9):29-30.
- [10] 赵平娟,安锋,林位夫.大力开展巴西橡胶树替代产胶植物及技术研究的建议[J].中国农学通报,2012,28(34):124-130.
- [11] 罗士苇,冯午,吴相钰.橡胶草的研究 部分 I:新疆产橡胶草的形态观察[J].中国科学,1951,2(3):373-379.
- [12] 罗士苇,吴相钰,冯午.橡胶草的研究 部分 II:新疆产橡胶草的化学分析及其橡胶含量之定[J].中国科学,1951,2(3):381-387.
- [13] 仇键,张继川,罗世巧,等.橡胶草的研究进展[J].植物学报,2015,50(1):133-141.
- [14] 孙树泉,张继川,张立群.生物橡胶的研究进展[J].高分子通报,2013(4):42-50.
- [15] 孙正美,高玉尧,徐建欣. GA3对橡胶草生理特性及开花的影响[J].河南农业科学,2016,45(3):120-124.
- [16] 王晓飞,吴耀坤,郭梦桥.大庆地区橡胶草引种试验[J].热带农业科学,2017,37(4):30-33.
- [17] 贾瑞.橡胶草根部离体培养诱导植株的研究[J].热带作物学报,2015,36(4):692-697.
- [18] 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.
- [19] 刘根实.蒲公英橡胶绿色提取技术及结构与性能研究[D].北京:北京化工大学,2018.
- [20] 李卓,刘禹,李淑君,等.橡胶草草根化学组成分析[J].广东化工,2015(15):16-18.
- [21] David A Ramirez-Cadavid, Katrina Cornish, Frederick C Michel Jr. Taraxacum Koksaghyz (TK): Compositional Analysis of a Feedstock for Natural Rubber and Other Bioproducts[J]. Industrial Crops and Products, 2017, DOI:10.1016/j.indcrop.2017.05.043.
- [22] 王燕飞,曹美环,王瑞刚.蒲公英中聚异戊二烯的提取及分析[J].化学世界,2018,59(8):517-520.
- [23] 梁素钰,李琳,王文帆,等.浅谈橡胶草胶乳品质影响因素[J].现代化农业,2014(7):38-39.
- [24] Buranov A U, Elmuradov B J. Extraction and Characterization of Latex and Natural Rubber from Rubber-bearing Plants[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2010, 58(2):734-743.

- [25] Hallahan D L, Keiper-Hrynko N M. Cis-prenyltransferases from the Rubber-producing Plants Russian Dandelion (*Taraxacum Koksaghyz*) and Sunflower (*Helianthus Annus*) [J]. US Patent, 2004, 44:174.
- [26] 杜春晏, 陈建候, 王静宜, 等. 新疆橡胶草工业利用的初步研究[J]. 科学通报, 1951, 2(3): 260-265.
- [27] 李增贵, 程溥. 用碱煮法测定青橡胶草中橡胶之含量 部分 I: 新疆多年生草根[J]. 化学世界, 1954, 9(4): 168-169.
- [28] 李增贵. 直接测定青橡胶草生胶中橡胶烃含量[J]. 化学学报, 1954, 20(2): 102-107.
- [29] David A Ramirez-Cadavid, Silvia Valles-Ramirez, Katrina Cornish, et al. Simultaneous Quantification of Rubber, Inulin, and Resins in *Taraxacum Koksaghyz* (TK) Roots by Sequential Solvent Extraction[J]. Industrial Crops and Products, 2018, DOI: 10.1016/j.indcrop.2018.06.008.
- [30] Junkong P, Cornish K, Ikeda Y. Characteristics of Mechanical Properties of Sulphur Cross-linked Guayule and Dandelion Natural Rubbers[J]. RSC Advances, 2017, DOI: 10.1039/C7RA08554K.
- [31] Beilen J B, Poirier Y. Establishment of New Crops for the Production of Natural Rubber[J]. Trends in Biotechnology, 2007, 25(11): 522-529.
- [32] 张立群. 天然橡胶及生物基弹性体[M]. 北京: 化学工业出版社, 2014.
- [33] Yuko Ikeda, Preeyanuch Junkongb, Takumi Ohashib, et al. Strain-induced Crystallization Behaviours of Natural Rubbers from Guayule and Rubber Dandelion Revealed by Simultaneous Time Resolved WAXD/Tensile Measurements: Indispensable Function for Sustainable Resources[J]. RSC Advances, 2016, DOI: 10.1039/C6RA22455E.
- [34] Musto S, Barbera V, Maggio M, et al. Crystallinity and Crystalline Phase Orientation of Poly (1, 4-cis-isoprene) from *Hevea Brasiliensis* and *Taraxacum Koksaghyz*[J]. Polymers for Advanced Technologies, 2016, 27(8): 1082-1090.
- [35] 马世龙. 蒲公英的食用、保健与药用价值[J]. 农业开发与装备, 2013(10): 111.
- [36] Hahn T, Klemm A, Ziesse P, et al. Optimization and Scale-up of Inulin Extraction from *Taraxacum Koksaghyz* Roots[J]. Natuarl Product Communication, 2016, 11(5): 689-692.
- [37] Qiu J, Sun S, Luo S, et al. Arabidopsis At PAP1 Transcription Factor Induces Anthocyanin Production in Transgenic *Taraxacum Brevicor-niculatum*[J]. Plant Cell Reports, 2014, 33: 669-680.
- [38] 鲁迪. 大陆公司展示蒲公英橡胶制造的轮胎[J]. 橡胶科技, 2014, 12(12): 45.
- [39] 朱永康. 大陆集团推进蒲公英橡胶的研究[J]. 世界橡胶工业, 2016, 43(10): 39.
- [40] 佚名. 邓禄普携手美国Kultevat研发新型天然橡胶[J]. 特种橡胶制品, 2015, 36(6): 60.
- [41] 钱伯章. 福特汽车利用蒲公英研发合成橡胶[J]. 世界橡胶工业, 2011, 38(6): 31.
- [42] 曾祥俊. 与世界同步迈向产业化进程的蒲公英橡胶[J]. 黑龙江科学, 2016(7): 134-135.

收稿日期: 2020-08-12

Research Progress on Extraction and Properties of Rubber from Dandelion *Taraxacum Koksaghyz*

ZHUO Yangpeng, LIAO Shuangquan, LIAO Xiaoxue, ZHANG Chen, FU Bo, ZHAO Yanfang,
LI Wanzhen, CHENG Ze'nan

(Hainan University, Haikou 570228, China)

Abstract: The composition of dandelion *taraxacum koksaghyz* (*taraxacum koksaghyz* for short) were introduced, the extraction methods, molecular structure and properties of *taraxacum koksaghyz* rubber were summarized, and the development prospects of *taraxacum koksaghyz* rubber were also summarized. *Taraxacum koksaghyz* rubber is a perennial herb of *compositae*, and its rhizome contains a lot of rubber components. The rubber extraction methods of *taraxacum koksaghyz* could be divided into latex extraction method, solid rubber extraction method and latex/solid rubber extraction method. The *taraxacum koksaghyz* rubber was *cis*-polyisoprene. The preparation of *taraxacum koksaghyz* rubber could alleviate the shortage of natural rubber resources in China.

Key words: dandelion *taraxacum koksaghyz*; natural rubber; composition; rubber extraction method; structure; performance