

三叶木通不同部位多酚、黄酮含量及抗氧化活性比较

Comparative study on polyphenol, flavonoid and antioxidant activities
from different parts of *Akebia Trifoliata*.

陆俊^{1,2} 罗丹¹ 张佳琦¹ 黄晖¹ 富春亚¹ 李忠海^{1,2}
LU Jun^{1,2} LUO Dan¹ ZHANG Jia-qi¹ HUANG Hui¹ FU Chun-ya¹ LI Zhong-hai^{1,2}

(1. 中南林业科技大学食品科学与工程学院, 湖南 长沙 410004;
2. 稻谷及副产物深加工国家工程实验室, 湖南 长沙 410004)

(1. College of Food Science and Engineering, Central South University of Forestry and Technology, Changsha, Hunan 410004, China; 2. National Engineering Laboratory of Rice and By-product Deep Processing, Changsha, Hunan 410004, China)

摘要:分别用超声波法和回流提取法对三叶木通不同部位进行提取,测定不同处理条件下不同部位的多酚和黄酮含量及抗氧化能力。结果表明,超声波提取法优于回流提取法,不同部位中以藤茎超声波提取物多酚、黄酮含量最高和抗氧化能力最强,其多酚含量(TPC)、黄酮含量(TFC)、DPPH 自由基清除能力(DPPH)、ABTS 自由基清除能力(ABTS)、铁还原抗氧化能力(FRAP)值分别为(63.033±0.482) mg/g, (26.395±0.731) mg /g, (380.860±5.462) μmol Trolox/g, (337.181±1.586) μmol Trolox/g, (387.406±1.773) μmol Trolox/g。两种方法测得的多酚和黄酮含量及抗氧化活性均呈现以下趋势:藤茎>叶片>果皮>种子>果肉。Spearman 相关性研究表明,多酚、黄酮含量与抗氧化活性呈强相关。研究结果为三叶木通的深加工利用提供了理论依据。

关键词:三叶木通;抗氧化;黄酮;多酚

Abstract: In order to evaluate the content of polyphenol and flavonoid, as well as antioxidant activity in different parts of *Akebia trifoliata*., the ultrasonic-assisted and reflux method were used. The content of polyphenol and flavonoids, and antioxidant capacity in different parts were compared. The results showed that the ultrasonic extraction method was more efficient than the reflux extraction method, among the all extracts, the highest content of polyphenol and flavonoid, and strongest antioxidant capacity was found in cane extract by ultrasonic-assited (CSJ). The contents of the total polyphenol, flavonoid in CSJ as (63.033±0.482) mg/g, (26.395±

0.731) mg/g, respectively, and the DPPH, ABTS, FRAP antioxidant activity value in CSJ as (380.860±5.462) μmol Trolox/g, (337.181±1.586) μmol Trolox/g and (387.406±1.773) μmol Trolox/g, respectively. The polyphenol, flavonoids content and antioxidant activity for all extracts were showing the following tendency: cane > leaf > peel > seed > sarcocarp. Spearman correlation study shows that the content of polyphenol, flavonoids and strongly related to the antioxidant activity. The research results provide experimental basis for deep processing of *Akebia Trifoliata*..

Keywords: *Akebia Trifoliata*.; antioxidant; polyphenol; flavonoid

三叶木通(*Akebia trifoliata* (Thunb). Koidz) 又称八月炸、八月瓜等,为木通科木通属落叶藤本植物,分布于中国南部、长江流域和西南山区^[1],为天然绿色野生水果,果肉占鲜果重近 50%,富含糖、V_C、矿物质和 15 种氨基酸等,果实肉白,汁甜味浓,清香独特,可鲜食,也可酿酒、制醋、加工成果冻、果脯等食品^[2-3]。其果主治阳痿,便秘,对清理体内垃圾、促进血液循环、改善消化系统有特效,长期食用可减少皮肤沉淀色素,消除皱纹,能强身健体而无副作用;其根主治顽癣、斑秃及皮肤病;茎有舒肝补肾、止痛消炎、利尿除湿等作用,鲜果皮约占果重的 40%,可用来酿酒,提取天然果胶和加工入药^[4];其花紫红色,气味芬芳,极具观赏价值。三叶木通营养价值丰富,在食品、医药、日化等领域有广泛应用^[5],主要有效成分是藤茎中的三萜皂苷类物质如齐墩果酸、熊果酸等^[6],还有存在于果实、叶片、种子和根中的黄酮类、酚类、多糖、油脂、氨基酸、木质素类等多种化学成分^[7-8]。近年来对三叶木通活性相关研究主要侧重于对其化学成分的研究^[9-10] 和黄酮的提取测定^{[11][12]30-40[13]17-27}等,而在抗氧化方面则只报道过其藤茎具有较好的自由基清除能力^{[13]37-42},对其不同部位活性成分抗氧化的比较研究则

基金项目:湖南省科技支撑计划项目(编号:2015NK3022)
作者简介:陆俊,男,中南林业科技大学副教授,博士研究生。
通讯作者:李忠海(1960—),男,中南林业科技大学教授,博士。
E-mail: lizh11@163.com
收稿日期:2016-06-09

没有报道。因此,进一步比较三叶木通不同部位抗氧化活性成分及抗氧化能力,可为促进药食兼用的三叶木通的综合利用提供试验依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

三叶木通:采于湖南省麻阳县,经中南林业科技大学李忠海教授鉴定为 *Akebia trifoliata* (Thunb). Koidz,将三叶木通的茎、叶、皮、种子 55 ℃ 烘干,粉碎,过 60 目筛,干燥保存;

福林酚:分析纯,上海源叶生物技术有限公司;
没食子酸、芦丁:分析纯,国药集团化学试剂有限公司;
2,4,6-三吡啶基三嗪(TPTZ):分析纯,都莱生物技术有限公司;

溶性维生素 E(Trolox):分析纯,华蓝化学有限公司;
ABTS:分析纯,合肥博美生物有限公司;
DPPH:分析纯,如吉生物总店;
儿茶素:分析纯,安徽酷儿生物工程有限公司。

1.2 仪器与设备

循环水真空泵:SHB-Ⅲ A 型,北京中兴伟业仪器有限公司;
数显恒温水浴锅:HH-S24S 型,金坛市大地自动化仪器厂;
紫外可见光光度计:UV1800 型,日本岛津公司;
超声波清洗机:JRC-2000 型,济宁市润通超声电子有限公司。

1.3 试验方法

1.3.1 三叶木通不同部位多酚、黄酮的提取 传统方法多采用加热回流法提取活性物质,而超声波法^[14-15]具有简单方便和快速的特点。因此采用两种方法提取不同部位多酚、黄酮并进行比较。

(1) 热回流提取法:称取约 1 g 样品粉末(果肉采用湿重),加入 50 mL 70%甲醇于 75 ℃ 回流抽提 1.5 h,抽滤后用 70%甲醇定容至 50 mL,-4 ℃ 保存待用。

(2) 超声提取法:称取约 1 g 样品粉末(果肉采用湿重),加入 50 mL 70%甲醇用 60 ℃ 热水浸泡 45 min,超声波处理 45 min,抽滤后用 70%甲醇定容至 50 mL,-4 ℃ 保存待用。

1.3.2 多酚含量的测定 参考文献[16]。

1.3.3 黄酮含量的测定 参考文献[17]。

1.3.4 抗氧化活性的测定

- (1) DPPH 自由基清除能力:参考文献[18]。
- (2) ABTS 自由基清除能力:参考文献[19]。
- (3) 铁还原抗氧化能力:参考文献[20]。

2 结果与分析

2.1 标准曲线

如图 1 所示,黄酮、多酚、DPPH、FRAP、ABTS 的标准曲线均具有良好的线性相关性,相关系数 R^2 的范围在 0.999 3~1.000 0。

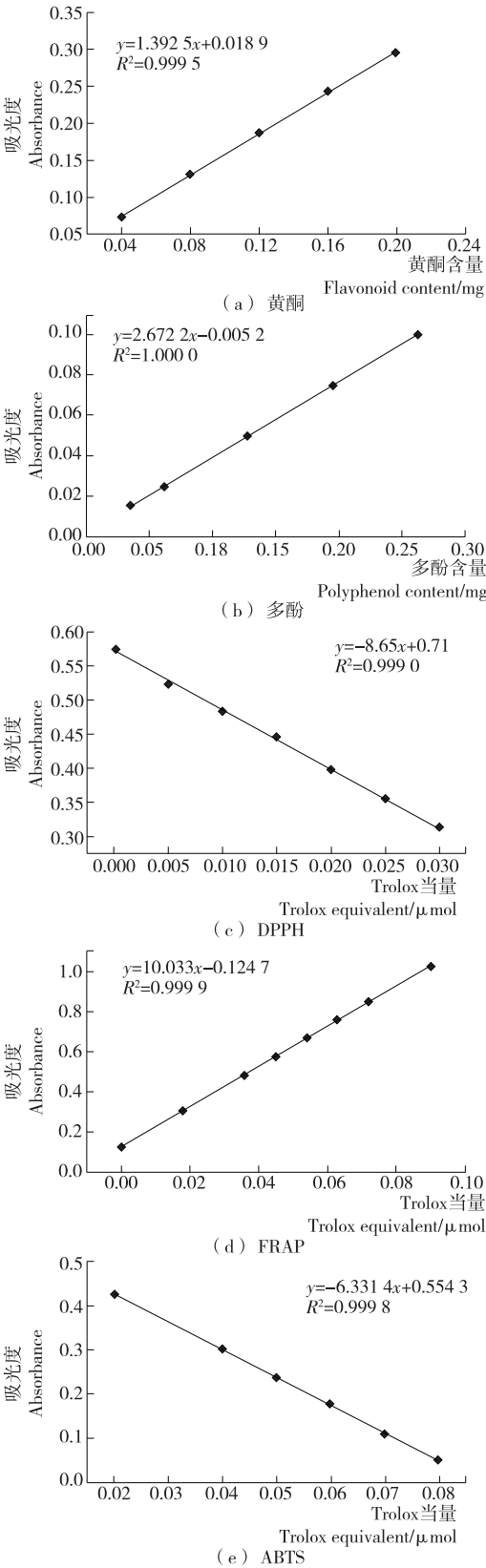
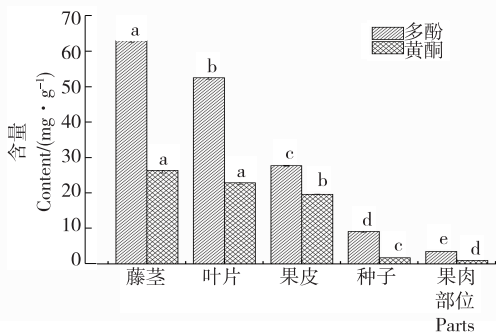


图 1 标准曲线

Figure 1 The standard curve

2.2 三叶木通多酚、黄酮含量及其抗氧化能力检测

2.2.1 三叶木通不同部位超声波提物多酚、黄酮含量 由图 2 可知,三叶木通的藤茎、叶片、果皮、种子和果实各部位

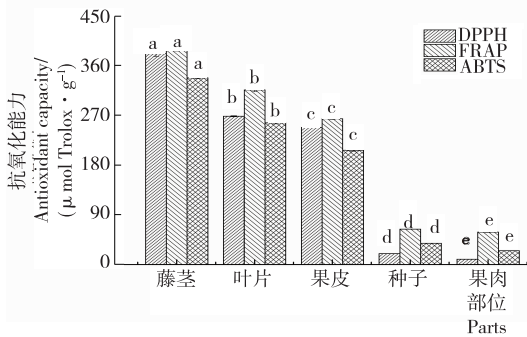


不同字母表示差异显著, $P < 0.05$

图 2 三叶木通不同部位超声波辅助提取物多酚、黄酮含量
Figure 2 The polyphenol and flavonoids content of ultrasonic-assisted extract from different parts of *Akebia trifoliata*.

的超声波法提取物均含有黄酮和多酚等有效成分且差异较大,其中多酚含量较多(63.033~3.510 mg/g),而黄酮含量相对较少(26.395~0.731 mg/g)。各部位多酚含量大小为藤茎>叶片>果皮>种子>果肉,各部位间均有显著差异,其中藤茎的多酚含量已达到(63.033±0.482) mg/g,相当于含量最少的果肉(3.510 mg/g±0.025 mg/g)的 18 倍。各部位黄酮含量大小顺序与多酚含量大小顺序一致,除藤茎和叶片之间无显著差异外,其它部位之间均有显著性差异,其中藤茎的黄酮含量为(26.395±0.731) mg/g,相当于含量最少的果肉黄酮含量(0.977 mg/g±0.022 mg/g)的 10 倍。

2.2.2 三叶木通不同部位超声波提取物抗氧化活性 由图 3 可知,三叶木通各部位超声波法提取物抗氧化活性差异较大,其中 DPPH 法测得抗氧化活性最强的是藤茎(380.860 $\mu\text{mol Trolox/g} \pm 5.462 \mu\text{mol Trolox/g}$),其次是叶片,抗氧化活性最差的是果肉部分,藤茎的抗氧化活性约是果肉的 39 倍。FRAP 法测得抗氧化活性大小的顺序为藤茎>叶片>果皮>种子>果肉,该法测得各部位之间抗氧化活性差异均显著,藤茎的抗氧化活性仍最强(387.406 $\mu\text{mol Trolox/g} \pm 1.774 \mu\text{mol Trolox/g}$),约是果肉的 6.6 倍。各部位提取物对 ABTS 自由基也具有清除活性,且不同部位之间均存在着显著差异,藤茎的清除能力仍为最强(337.181 μmol

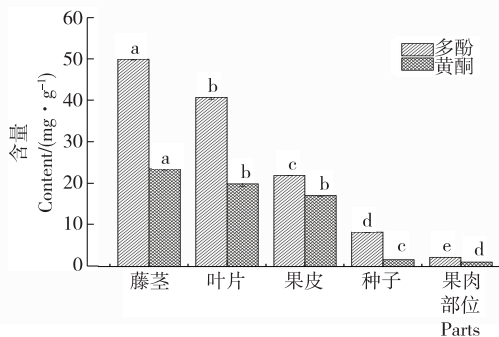


不同字母表示差异显著, $P < 0.05$

图 3 三叶木通不同部位超声波辅助提取物抗氧化活性
Figure 3 The antioxidant activity of ultrasonic-assisted extract from different parts of *Akebia trifoliata*.

Trolox/g±1.587 $\mu\text{mol Trolox/g}$),约是果肉的 13.5 倍。由此说明抗氧化效果与不同部位的提取液具有一定的关系,虽然三种方法测定出来的数值不一样,但其趋势都是一致的,其抗氧化能力均为藤茎>叶片>果皮>种子>果肉。

2.2.3 三叶木通不同部位回流提取物多酚、黄酮含量 由图 4 可知,三叶木通的各部位加热回流法的提取物均含有黄酮和多酚等有效成分且差异较大。提取物中有效成分仍是多酚居多(49.915~2.240 mg/g),黄酮较少(23.526~1.089 mg/g),与超声波提取物所得结论一致。各部位多酚含量趋势为藤茎>叶片>果皮>种子>果肉。藤茎的多酚含量最多(49.915 mg/g±0.199 mg/g),相当于含量最少的果肉的 22 倍。各部位黄酮含量大小顺序与多酚含量大小顺序一致,含量最高的是藤茎(23.526 mg/g±0.314 mg/g),含量最少的是果肉(1.089 mg/g±0.0125 mg/g),各部位除叶片和果皮外其它部位间均有显著性差异。在所有提取物中,超声波提取物的多酚、黄酮含量均高于热回流提取物,效率较高。



不同字母表示差异显著, $P < 0.05$

图 4 三叶木通不同部位热回流提取物多酚、黄酮含量
Figure 4 The polyphenol and flavonoids content of reflux extract from different parts of *Akebia trifoliata*.

2.2.4 三叶木通不同部位回流提取物抗氧化活性 由图 5 可知,三叶木通各部位的热回流法提取物的抗氧化活性存在显著差异。DPPH 法测得的抗氧化活性最强的仍是藤茎(308.285 $\mu\text{mol Trolox/g} \pm 3.575 \mu\text{mol Trolox/g}$),明显高于其它部位;其次是叶片,果肉的最差。FRAP 法测得抗氧化活性大小的顺序为藤茎>叶片>果皮>种子>果肉,藤茎的抗氧化活性(356.028 $\mu\text{mol Trolox/g} \pm 2.225 \mu\text{mol Trolox/g}$)约是果肉的 21 倍。各部位提取物对 ABTS 自由基也具有清除活性,能力最好的仍为藤茎(256.36 $\mu\text{mol Trolox/g} \pm 1.867 \mu\text{mol Trolox/g}$),能力最差的是果肉(13.422 $\mu\text{mol Trolox/g} \pm 0.092 \mu\text{mol Trolox/g}$)。各部位抗氧化能力大小顺序与超声波提取物的抗氧化能力大小顺序一致,且三种方法所得出的趋势也一致,其抗氧化能力均为藤茎>叶片>果皮>种子>果肉。

综上所述,超声波法对三叶木通多酚和黄酮的提取效率要大于热回流法,这可能与超声波的空化作用有利于活性成分的释放有关,这和成晓霞等^[15]研究发现超声波对三叶木通常春藤皂苷的提取得率要高于热回流法结论一致。不同部位的提取物中,以藤茎的多酚和黄酮含量最高,抗氧化能

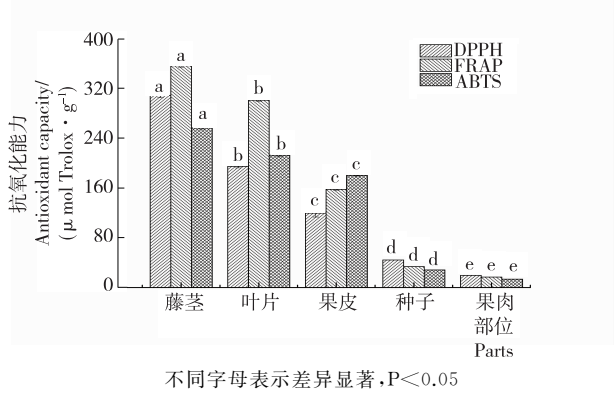


图 5 三叶木通不同部位热回流提取物抗氧化活性

Figure 5 The antioxidant activity of reflux extract from different parts of *Akebia trifoliata*.

力最强,可能与三叶木通各部位本身多酚和黄酮类物质的组成和含量不一致有关,如根茎主要含常春藤甙元、齐墩果酸等皂苷,叶主要含槲皮素、咖啡酸、对香豆酸等酚酸类化合物,种子主要含油酸、亚油酸、棕榈酸等脂肪酸类,肉主要含糖类和蛋白质^[3],果皮主要含果胶和黄酮^[12]⁴⁸。

2.3 抗氧化活性成分与抗氧化活性相关性

研究^[21-22]表明,许多植物的药用价值与其抗氧化活性密切相关,而黄酮类、酚类是自然界存在的天然抗氧化成分,其含量与抗氧化活性密切相关。利用 Spearman 分析三叶木通的各种抗氧化活性(DPPH、FRAP、ABTS)与其化学成分(TPC、TFC)之间的相关性,结果见表 1。由表 1 可知,抗氧化活性成分与抗氧化活性之间均存在着强相关性。且均达到极显著水平(P<0.01)。此外,抗氧化活性之间也显示出显著的相关性,表明抗氧化活性测定都是可靠和可互换的;黄酮和多酚含量之间也存在强相关,和周佳等^[23]对蔬菜抗氧化能力与酚酸、总黄酮相关性研究的结论一致。

表 1 抗氧化成分和抗氧化活性斯皮尔曼相关系数 [†]					
Table 1 The Spearman correlation coefficient of antioxidants and antioxidant activity					
指标	TPC	TFC	DPPH	FRAP	ABTS
TPC	1.000	0.961**	0.936**	0.964**	0.984**
TFC		1.000	0.961**	0.937**	0.972**
DPPH			1.000	0.906**	0.937**
FRAP				1.000	0.977**
ABTS					1.000

† **表示差异极显著,P<0.01。

3 结论

本试验通过对三叶木通不同部位中的抗氧化成分及其抗氧化活性进行检测,得出:超声波法提取得到藤茎、果皮、叶片、果肉、种子的多酚和黄酮得率大于热回流法提取的,其中以藤茎的多酚和黄酮含量最高,分别为(63.033±0.482), (26.395±0.731) mg/g;三叶木通不同部位提取物的抗氧化能力均表现为藤茎>叶片>果皮>种子>果肉,其中藤茎超声提取物对 DPPH 自由基清除能力、ABTS 自由基清除能

力、铁还原抗氧化能力分别为(380.860±5.462),(337.182±1.587),(387.406±1.774) μmol Trolox/g;各部位的抗氧化能力大小与黄酮类和多酚类含量呈强相关关系。试验研究结果可为三叶木通的综合开发与利用提供科学依据,但本试验仅初步分析了三叶木通不同部分的花黄酮及多酚类化合物含量,今后可进一步通过液质联用手段研究其具体活性成分组成及含量,通过活性追踪的方法分析主要起抗氧化作用的化合物种类组成及特性,并进一步研究其它生物活性作用。

参考文献

[1] 班小重, 万明长, 张朝君, 等. 野生果树八月瓜的资源收集与利用评价[J]. 贵州农业科学, 2008, 36(4): 17-19.

[2] 张晓蓉, 杨朝霞, 刘世彪, 等. 湘西地区木通果实微量元素的测定[J]. 中国野生植物资源, 2003, 22(1): 44-46.

[3] 万明长, 刘学武, 班小重, 等. 三叶木通栽培条件下果实性状及营养成分分析[J]. 贵州农业科学, 2008, 36(3): 121-122.

[4] 谢小霞, 葛发欢. 三叶木通药学研究现状与展望[J]. 现代医药卫生, 2009, 25(14): 2 165-2 167.

[5] 吴永朋, 原雅玲, 肖娅萍. 三叶木通的研究进展[J]. 陕西林业科技, 2013(1): 31-34.

[6] MIMAKI Y, DOI S, KURODA M, et al. Triterpene glycosides from the stems of *Akebia quinata* [J]. Chemical & Pharmaceutical Bulletin, 2007, 55(9): 1 319-1 324.

[7] MIMAKI Y, KURODA M, YOKOSUKA A, et al. Triterpenes and Triterpene Saponins from the Stems of *Akebia trifoliata*[J]. Chemical & Pharmaceutical Bulletin, 2004, 35(3): 960-965.

[8] JIANG Dan, SHI She-po, CAO Ji-juan, et al. Triterpene saponins from the fruits of *Akebia quinata*[J]. Biochemical Systematics & Ecology, 2008, 36(2): 138-141.

[9] 关树光, 於文博, 潘文君, 等. 三叶木通中酚醇和酚醇苷的生物活性研究[J]. 中国民族民间医药, 2015(23): 12-13.

[10] 张铮, 冯航, 王喆之. 三叶木通藤茎中三萜皂苷类成分积累动态的研究[J]. 中药材, 2014, 37(7): 1 130-1 133.

[11] 邵显会, 肖娅萍, 张珂, 等. 不同产地三叶木通中总黄酮含量的测定[J]. 光谱实验室, 2012, 29(3): 1 345-1 350.

[12] 张孟琴. 三叶木通果皮中果胶和黄酮的提取分离研究[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2007.

[13] 邵显会. 三叶木通总黄酮和多糖的提取纯化及生物活性研究[D]. 西安: 陕西师范大学, 2012.

[14] 周燕芳, 丁利君. 超声波辅助提取艾叶黄酮的工艺研究[J]. 食品与机械, 2006, 22(4): 39-41.

[15] 成晓霞, 孙蓉蓉, 欧阳洁楠, 等. 三叶木通中常春藤皂苷的提取工艺[J]. 安徽农业科学, 2008, 36(16): 6 792-6 794.

[16] ZOU Yan-ping, CHANG S K C, GU Yan, et al. Antioxidant activity and phenolic compositions of lentil (*Lens culinaris* var. Morton) extract and its fractions[J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 2011, 59(6): 2 268-2 276.

[17] ZIELINSKI A A F, HAMINIUK C W I, ALBERTI A, et al. A comparative study of the phenolic compounds and the in vitro, antioxidant activity of different Brazilian teas using multivariate statistical techniques[J]. Food Research International, 2014, 60(6):246-254.

标识的通行规则,一般是设定转基因成分含量阈值,只有当转基因成分超过阈值时才要求强制标识。例如,欧盟规定,在规定产品中的转基因成分低于0.9%的,可以不贴标签。中国可以借鉴欧盟经验,在综合考量现实国情和生物检测水平的基础上设置一个可以检测出的转基因成分含量值。鉴于中国转基因作物与传统作物共存,以及转基因生物管理制度不成熟的现状,建议采用4%的阈值作为参考。但是为了避免生产经营者为了非法牟利而故意在食品中加入阈值豁免限度内的转基因原料,应该要求其证明其无主观故意,且已于食品加工过程中采取了合理措施以避免混入基因成分。

4.3 标识形式:加强对转基因食品阴性标识的监管

转基因食品阴性标识的规定在中国现行规则体系中的缺场,致使市场上存在利用法律漏洞滥用转基因食品阴性标识的现象。例如,国内一些食用油厂家故意在外包装上注明“本产品不含任何转基因成分”,通过这种比较广告的方式向消费者传递一种“非转基因食品比转基因食品更加绿色、安全、健康”的心理暗示。更有甚者,甚至对中国乃至全球均无转基因品种商业化种植的作物进行阴性标识,以欺诈消费者。转基因产业长远发展离不开消费者的支持,但是转基因阴性标识行为所营造出的转基因食品“低人一等”的氛围无疑会阻碍转基因产业的发展。因此,建议在《办法》中明确规定:对目前在中国乃至全球尚未商业化种植的转基因作物,禁止使用非转基因标识;对已经商业化种植的转基因作物的产品进行非转基因标识必须经过质监部门的检测认证;不得使用与非转基因进行对比的词语。

5 结论

中国在转基因食品标识管理方面切忌盲目照搬外国经验,而应该将制度牢牢建构在对本国国情分析的基础之上。为促进转基因技术发展、消除粮食安全隐患,中国有必要调整当前过于严苛的转基因食品标识制度,通过实行以产品为基础的强制标识,建立阈值制度,强化对阴性标识的监管等一系列手段来完善中国转基因食品标识管理规定。尽管,在当今时代,科学界和政治界对专业知识和理性的垄断已经被打破^[16],但是转基因食品安全管理在政策设计上仍然不能完全为公众情绪所左右,还要考量中国现实国情和长远利益。唯有如此,制度架构才能探寻到消费者知情权保障和转

基因产业发展促进之间的“阿基米德支点”,实现良法善治。

参考文献

[1] 付文佚,王长林.转基因食品标识的核心法律概念解析[J].法学杂志,2010(11):113-115.

[2] 李响.比较法视野下的转基因食品标识制度研究[J].学习与探索,2015(7):72-77.

[3] 张忠民.转基因食品标识阈值问题研究[J].食品科学,2015,36(9):254-259.

[4] 高伟,罗云波.转基因食品标识的争论及得失利弊的分析与研究[J].中国食品学报,2016,16(1):1-9.

[5] 陈阳.欧美转基因食品安全监管制度及启示[J].食品与机械,2015,31(1):269-271.

[6] JOHN S Applegate. The prometheus principle: using the precautionary principle to harmonize the regulation of genetically modified organisms[J]. Indiana Journal of Global Legal Studies, 2001, 9(1): 207-263.

[7] NICHOLAS Kalaitzandonakes. Anotherlook at biotech regulation[J]. Regulation; the cato review of business and government, 2004, 27(1): 46.

[8] JESSE R Merriam. Encyclopedia of the United States Constitution[M]. [S. l.]: Facts On File Inc, 2009: 782-783.

[9] 李一达.言论抑或利益——美国宪法对商业言论保护的过去、现在和未来[J].法学论坛,2015,30(5):154,157.

[10] Nuffield Council on Bioethics. Genetically modified crops: the ethical and social issues[M]. London: Nuffield Council on Bioethics, 1999: 82.

[11] 余丽娜,李志明,潘荣翠.美国与欧盟的转基因食品安全性政策演变对比[J].生物技术通报,2011(10):1-6.

[12] 吴林海,吕煜昕,吴治海.基于网络舆情视角的我国转基因食品安全问题分析[J].情报杂志,2015,34(4):85-90.

[13] 豆雨思,蒋文玉.转基因食品的法律规制研究[J].食品与机械,2015,31(3):268-271.

[14] CLIVE James. 2014年全球生物技术/转基因作物商业化发展态势[J].中国生物工程杂志,2015,35(1):1-14.

[15] 王迁.欧美转基因食品法律管制制度比较研究[J].河北法学,2005,23(10):114-121.

[16] 王虎,李梓铨.整体主义视野下我国食品安全私人执法模式研究[J].华中科技大学学报:社会科学版,2013,27(5):75-82.

(上接第135页)

[18] GORJANOVIC S, KOMES D, PASTOR F T, et al. Antioxidant capacity of teas and herbal infusions: polarographic assessment.[J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 2012, 60(38):9573-9580.

[19] OH J, JO H, CHO A R, et al. Antioxidant and antimicrobial activities of various leafy herbal teas[J]. Food Control, 2013, 31(2): 403-409.

[20] LU Xiao-nan, ROSS C F, POWERS J R, et al. Determination of total phenolic content and antioxidant activity of garlic (*Allium sativum*) and elephant garlic (*Allium ampeloprasum*) by Attenuated total reflectance-fourier transformed infrared spec-

troscopy[J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 2011, 59(10): 5215-5221.

[21] THI N D, HWANG E S. Effects of drying methods on contents of bioactive compounds and antioxidant activities of black chokeberries (*Aronia melanocarpa*) [J]. Food Science & Biotechnology, 2016, 25(1): 55-61.

[22] WANG Da-wei, WANG Jin, LIU Yun-tao, et al. Roles of Chinese herbal medicines in ischemic heart diseases (IHD) by regulating oxidative stress[J]. International Journal of Cardiology, 2016, 220: 314-319.

[23] 周佳,阮征,江波,等.蔬菜抗氧化能力及与酚酸和总黄酮相关性研究[J].食品与机械,2012,28(3):139-143.