

网络出版时间:2023-02-09 16:50

DOI:10.13207/j.cnki.jnwafu.2023.08.013

网络出版地址:https://kns.cnki.net/kcms/detail//61.1390.S.20230209.1539.004.html

木本蔬菜卡亚幼嫩枝叶营养价值分析及评价

尚秀华,张沛健,刘果,潘晓宇,高丽琼,彭彦

(中国林业科学研究院 速生树木研究所,广东 湛江 524022)

【摘要】【目的】对新引种木本蔬菜卡亚嫩枝叶的营养价值进行研究,为卡亚的开发应用提供科学依据。【方法】采用食品安全国家标准对不同品种(Chaya、Estrella)和不同树龄(1年生 Chaya、3年生 Chaya)卡亚嫩枝叶的维生素、基本营养成分、矿物质、氨基酸组成等进行测定和分析,并与木本蔬菜香椿及常食蔬菜菜心和菠菜的营养成分进行比较,通过主成分分析对其营养价值进行综合评价。【结果】卡亚嫩枝叶含有丰富的维生素、蛋白质、矿物质和氨基酸,营养价值较高,其蛋白质、V_C、P、Mn 含量均超过香椿、菜心和菠菜。卡亚基本营养成分中蛋白质含量超过 42.6 g/kg,脂肪含量最高为 2 g/kg,膳食纤维含量超过 21.7 g/kg,维生素中 V_C 含量超过 476 mg/kg;矿物质元素中 P、Mg、K 和 Ca 含量较高,最高含量分别为 526,1 230,5 790 和 1 340 mg/kg。卡亚中富含 17 种氨基酸,总量超过 40 g/kg,其中苯丙氨酸、蛋氨酸、赖氨酸、酪氨酸及半胱氨酸含量均高于香椿、菜心和菠菜。卡亚必需氨基酸含量为 16.83~18.42 g/kg,高于菜心和菠菜,必需氨基酸含量/总氨基酸含量值为 0.42~0.44,高于香椿和菠菜,是比较理想的蛋白质来源蔬菜。方差分析和主成分分析表明,卡亚不同品种间营养价值差异较大,且 Chaya>Estrella,不同树龄 Chaya 的营养价值以 1 年生>3 年生,其中 Chaya 无论何种树龄嫩枝叶的营养价值均高于香椿、Estrella、菜心和菠菜,因此 Chaya 作为木本蔬菜可以一年种植多年采摘。【结论】卡亚总体氨基酸含量丰富,种类比较齐全,组成合理,是一种具有高营养价值的新资源木本蔬菜,值得推广食用。

【关键词】 卡亚;木本蔬菜;营养成分;营养评价

【中图分类号】 S636.901

【文献标志码】 A

【文章编号】 1671-9387(2023)08-0107-08

Analysis and evaluation of nutritional value of tender branches and leaves of woody vegetable *Cnidoscopus aconitifolius*

SHANG Xiuhua, ZHANG Peijian, LIU Guo, PAN Xiaoyu, GAO Liqiong, PENG Yan

(Research Institute of Fast-growing Trees, Chinese Academy of Forestry, Zhanjiang, Guangdong 524022, China)

Abstract: 【Objective】 This study investigated the nutritional value of tender branches and leaves of new introduced woody vegetable *Cnidoscopus aconitifolius* to provide basis for scientific consumption of *C. aconitifolius*. 【Method】 Vitamins, basic nutrients, minerals, amino acids and other nutrients in tender branches and leaves of different varieties (Chaya and Estrella) at different tree ages (1 and 3 years old) were determined and analyzed by national food safety standards. The nutritional components were compared with those of woody vegetable *Toona sinensis*, common vegetable flowering Chinese cabbage (*Brassica campestris* L. ssp. *chinensis* var. *utilis* Tsen et Lee) and *Spinacia oleracea* L. The nutritional value was then evaluated by principal component analysis. 【Result】 The tender branches and leaves of *C. aconitifolius* were rich in vitamins, proteins, minerals and amino acids, indicating high nutritional value. The contents of protein, V_C, P and Mn were higher than those of *T. sinensis*, flowering Chinese cabbage and *S.*

【收稿日期】 2022-05-23

【基金项目】 中国林业科学研究院基本科研业务费专项(CAFYBB2018MB007)

【作者简介】 尚秀华(1984—),女,山东菏泽人,副研究员,博士,主要从事林木遗传育种研究。E-mail:shxhzhz@163.com

【通信作者】 彭彦(1968—),男,湖南娄底人,教授级高级工程师,硕士,主要从事林下经济林研究。E-mail:594319902@qq.com

oleracea L. The content of protein exceeded 42.6 g/kg, the content of fat was 2 g/kg, the content of dietary fiber exceeded 21.7 g/kg, and the content of V_C exceeded 476 mg/kg. The contents of P, Mg, K, Ca were high with maximum contents of 526, 1 230, 5 790, 1 340 mg/kg, respectively. *C. aconitifoliu* was rich in 17 amino acids, with a total amount of more than 40 g/kg, and contents of phenylalanine, methionine lysine, tyrosine and cysteine were higher than those of *T. sinensis*, flowering Chinese cabbage and *S. oleracea* L. The content of essential amino acids in *C. aconitifoliu* was 16.83—18.42 g/kg, which was higher than that of *T. sinensis* and flowering Chinese cabbage. The ratio of essential amino acids to total amino acids was 0.42—0.44, higher than that of *T. sinensis* and *S. oleracea* L, indicating that it was an ideal source of protein. Comprehensive evaluation through variance analysis and principal component analysis showed that there were significant differences in nutritional value among different varieties and ages of *C. aconitifolius*. Chaya had higher value than Estrella, and 1-year-old had higher value than 3-year-old. Chaya had higher nutritional value than *T. sinensis*, Estrella, flowering Chinese cabbage and *S. oleracea* L. at all ages. *C. aconitifoliu* can be planted and used for many years as a woody vegetable. 【Conclusion】 *C. aconitifoliu* is a new resource of woody vegetable for popularization and consumption with high nutritional value as it has rich amino acids, complete nutritional varieties and reasonable composition.

Key words: *Cnidoscolus aconitifolius*; woody vegetables; nutrients constituent; nutrition evaluation

卡亚(*Cnidoscolus aconitifolius*)别名木菠菜(tree spinach),属大戟科(Euphorbiaceae)多年生灌木植物,枝繁叶茂,叶呈掌状,有3~5个裂片,树高一般为1~3 m,最高可达6 m,主要分布在北美洲,有40多个种及变种^[1-2],一般多生长在乔木林下,具有生物产量高、再生能力强、叶片鲜嫩、质地细软、营养价值好、栽培简便及抗病虫、抗逆性强的优点^[3]。卡亚中含有丰富的蛋白质、脂肪、矿物质、维生素及氨基酸^[4],用途广泛,可作为蔬菜、饲料和药用植物,是玛雅印第安人“理想的食物和医药”^[5]。作为蔬菜来源时,树干通常被修剪为高1.5~2.0 m,以获得更多营养价值极高的嫩枝叶,其中铁、钾、钙和维生素C含量较高^[6-7]。卡亚具有营养丰富、消化性好且易于栽培等特点,已成为饲料研究中的新兴领域^[8];卡亚叶片富含的多种酚类和黄酮类物质具有多种药理功能,并可用于关节炎与糖尿病的治疗^[9-10]。

作为我国新引进的一种木本蔬菜,目前国内关于卡亚营养成分的报道尚少。游巧宁^[3]和赵海伊等^[11]对种植于重庆地区的卡亚叶片的营养成分进行了分析研究,古敏等^[12]对作为新型蛋白饲料资源的卡亚进行了营养价值分析。目前作为绿叶蔬菜的卡亚,主要有“Chaya”和“Estrella”2个品种^[13]。由于卡亚为引进种,不同地区地理环境及气候对其营养价值有一定影响,但目前尚未见关于华南地区种植卡亚营养成分的报道,因此,系统研究华南地区种植卡亚作为蔬菜的营养价值,对缓解当地蔬菜供需矛盾具有重要意义。为此,本研究以“Chaya”和

“Estrella”2个卡亚品种可食部分的嫩枝叶为研究对象,对其维生素含量、基本营养成分、矿物质含量、氨基酸含量等指标进行测定,并对其营养价值进行比较,同时选择1年和3年生Chaya研究不同树龄嫩枝叶营养价值的差异,并与木本蔬菜香椿(*Toona sinensis*)、华南地区常食蔬菜菜心(*Brassica campestris* L. ssp. *chinensis* var. *utilis* Tsen et Lee)以及菠菜(*Spinacia oleracea* L.)的营养成分进行对比,最后利用主成分分析对其营养成分进行综合评价,旨在全面了解卡亚的营养价值,进而为新引种的木本蔬菜的合理开发和科学膳食提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

材料引种自美国佛罗里达州,现种植于广东湛江南方国家级林木种苗示范基地卡亚试验田区。为研究不同品种间嫩枝叶营养价值的差异,于2020年10月份采取2019年8月份种植的Estrella和Chaya 2个卡亚品种枝条顶端长度约25 cm的嫩枝叶;为研究不同树龄间卡亚嫩枝叶营养价值的差异,以Chaya为研究材料,于2020年8月份分别采取2019年8月份(1年生)及2017年8月份(3年生)种植的Chaya枝条顶端长度约25 cm的嫩枝叶。所有样品均取鲜样300 g,设3个重复。为区分3份Chaya材料,后文将不同品种分析的Chaya记为Chaya,将不同树龄对比分析的1年生Chaya记为Chaya 1,3年生Chaya记为Chaya 3。作为对照的

香椿^[14]、菜心^[15]和菠菜^[16] 3 种蔬菜的营养成分数据来自于网络已发表数据。

1.2 测定项目与方法

1.2.1 维生素含量测定 参照国家标准测定所有维生素的含量,其中维生素 B₁ (硫胺素)含量参照 GB 5009.84—2016《食品安全国家标准:食品中维生素 B₁ 的测定》“第一法”(高效液相色谱法)测定;维生素 B₂ 含量参照 GB 5009.85—2016《食品安全国家标准:食品中维生素 B₂ 的测定》“第一法”(高效液相色谱法)测定;维生素 B₃ (烟酰胺)含量参照 GB 5009.89—2016《食品安全国家标准:食品中烟酸和烟酰胺的测定》“第二法”(高效液相色谱法)测定;维生素 C (抗坏血酸)含量参照 GB 5009.86—2016《食品安全国家标准:食品中抗坏血酸的测定》“第一法”(高效液相色谱法)测定; β 胡萝卜素含量参照 GB 5009.83—2016《食品安全国家标准:食品中胡萝卜素的测定》色谱条件二测定。

1.2.2 基本营养成分测定 水分含量参照 GB 5009.3—2016《食品安全国家标准:食品中水分的测定》“第一法”(直接干燥法)测定;总灰分含量参照 GB 5009.4—2016《食品安全国家标准:食品中灰分的测定》“第一法”(食品中总灰分的测定)测定;蛋白质含量参照 GB 5009.5—2016《食品安全国家标准:食品中蛋白质的测定》“第一法”(凯氏定氮法)测定;脂肪含量参照 GB 5009.6—2016《食品安全国家标准:食品中脂肪的测定》“第二法”(酸水解法)测定;总膳食纤维含量参照 GB 5009.88—2014《食品安全国家标准:食品中膳食纤维的测定》方法测定;碳水化合物和能量参照 GB 28050—2011《食品安全国家标准:预包装食品营养标签通则》方法测定。

1.2.3 矿物质营养元素含量测定 卡亚样品中矿物质营养元素磷(P)、钠(Na)、镁(Mg)、钾(K)、钙(Ca)、锰(Mn)、铁(Fe)、锌(Zn)含量,参照 GB 5009.268—2016《食品安全国家标准:食品中多元素的测定》“第一法:电感耦合等离子体质谱法(ICP-MS)”测定。

1.2.4 氨基酸检测和评价 (1)氨基酸含量检测。对新鲜卡亚嫩枝叶样品中的苯丙氨酸(Phe)、丙氨酸(Ala)、蛋氨酸(Met)、脯氨酸(Pro)、甘氨酸(Gly)、谷氨酸(Glu)、精氨酸(Arg)、赖氨酸(Lys)、酪氨酸(Tyr)、亮氨酸(Leu)、丝氨酸(Ser)、苏氨酸(Thr)、天冬氨酸(Asp)、缬氨酸(Val)、异亮氨酸(Ile)、组氨酸(His)、半胱氨酸(Cys)等 17 种氨基酸,参照 GB 5009.124—2016《食品安全国家标准:

食品中氨基酸的测定》方法进行测定。

(2)氨基酸营养评价。参照蛋白营养的检测和评价方法^[17-18],分别计算必需氨基酸(essential amino acids, EAA)、非必需氨基酸(non-essential amino acids, NEAA)、氨基酸总量(total amino acids, TAA)及必需氨基酸/氨基酸总量(EAA/TAA)、必需氨基酸/非必需氨基酸(EAA/NEAA)、赖氨酸/必需氨基酸(Lys/EAA)值。

必需氨基酸(EAA)含量以异亮氨酸、亮氨酸、赖氨酸+半胱氨酸、苯丙氨酸+酪氨酸、缬氨酸和苏氨酸含量之和计;非必需氨基酸(NEAA)含量以丙氨酸、脯氨酸、甘氨酸、谷氨酸、精氨酸、丝氨酸、天冬氨酸和组氨酸含量之和计;氨基酸总量(TAA)以 17 种氨基酸含量之和计。

将卡亚中氨基酸组成与 2013 年联合国粮农组织/世界卫生组织(Food and Agriculture Organization/World Health Organization, FAO/WHO)提出的针对年龄大于 3 岁的大龄儿童、青少年及成人必需氨基酸标准模式^[19]进行比对,通过公式(1)、(2)和(3)分别计算氨基酸比值(ratio of amino acid, RAA)、氨基酸比值系数(ratio coefficient of amino acid, RC)、必需氨基酸指数(essential amino acid index, EAAl),并对卡亚的营养价值进行评价^[20-21]。

$$RAA = \frac{\text{待评蛋白质 EAA 含量}}{\text{FAO/WHO 模式中相应 EAA 含量}}; \tag{1}$$

$$RC = \frac{RAA}{7 \text{ 类必需氨基酸 RAA 平均值}}; \tag{2}$$

$$EAAl = \frac{\sqrt[n]{\frac{Ile^a}{Ile^b} \times \frac{Leu^a}{Leu^b} \times \dots \times \frac{Val^a}{Val^b} \times \frac{Thr^a}{Thr^b}}}{100} \times \tag{3}$$

式中:Ile^a、Leu^a、…、Thr^a 为样品必需氨基酸含量, Ile^b、Leu^b、…、Thr^b 为标准模式中必需氨基酸含量, n 为 EAA 个数。

1.3 数据统计分析

采用 Excel 2010 进行数据整理和统计,采用 SPSS 24.0 对各种营养元素进行方差分析和主成分分析。显著性分析仅针对本研究数据。

2 结果与分析

2.1 卡亚嫩枝叶维生素含量分析

由表 1 可知,卡亚嫩枝叶中的 V_{B2}、V_C、 β -胡萝卜素 3 种维生素含量均较高,且在不同品种间、不同树龄间差异显著。卡亚的 V_{B2} 含量为 0.88~1.25

mg/kg,高于华南地区特产蔬菜菜心的含量,以 3 年生 Chaya 的 V_{B_2} 含量最高,高于香椿和菜心但低于菠菜; V_C 含量为 476~968 mg/kg,均高于香椿、菜心及菠菜; β -胡萝卜素含量均高于香椿,且以 1 年生 Chaya 最高。不同品种而言,Estrella 和 Chaya 维生素含量差异较大,其中 Chaya 的 V_{B_2} 、 V_C 、 β -胡萝卜素含量均显著高于 Estrella。不同树龄的 Chaya 相

比,1 年生 Chaya 的 β -胡萝卜素含量显著高于 3 年生,而 3 年生 Chaya 的 V_{B_2} 和 V_C 含量均显著高于 1 年生 Chaya。从维生素含量指标综合来看,品种 Chaya 优于 Estrella,虽不同树龄卡亚间维生素含量存在明显差异,但其维生素含量均较高,表明卡亚经多年种植营养价值仍较高,可以做到一年种植多年采收。

表 1 不同品种和树龄卡亚嫩枝叶维生素含量的比较

Table 1 Comparson of vitamin contents in tender branches and leaves of *C. aconitifolius* among different varieties and tree ages

蔬菜品种 Vegetable varieties	V_{B_1}	V_{B_2}	V_{B_3}	V_C	β -胡萝卜素 Beta-carotene
Estrella	<1	0.88 c	<1	476 c	31.7 b
Chaya	<1	1.02 b	<1	762 b	41.9 a
Chaya 1	<1	0.98 b	<1	758 b	42.2 a
Chaya 3	<1	1.25 a	<1	968 a	24.3 c
香椿 <i>T. sinensis</i>	0.70	1.20	9.00	400	9.3
菜心 Flowering Chinese cabbage	0.23	0.65	—	289	—
菠菜 <i>S. oleracea</i>	0.78	1.89	7.24	281	—

注:同列数据后标不同小写字母表示各处理差异显著($P<0.05$)。下表同。
Note:Different lowercase letters represent significant differences between treatments ($P<0.05$). The same below.

2.2 卡亚嫩枝叶基本营养成分分析

从表 2 可知,卡亚基本营养成分在不同品种及不同树龄间存在差异。卡亚蛋白质含量超过 42.6 g/kg,高于香椿、菜心和菠菜;膳食纤维含量与菜心、菠菜差异不大;脂肪含量与菜心差异不大,但低于香

椿和菠菜;能量值以 3 年生 Chaya 最大,Estrella 最低,但均远高于香椿、菜心和菠菜。总体而言,3 年生 Chaya 蛋白质含量和能量值最高,脂肪含量较低,膳食纤维含量较高,营养相对均衡。

表 2 不同品种和树龄卡亚嫩枝叶基本营养成分的比较

Table 2 Comparison of basic nutrient components in tender branches and leaves of *C. aconitifolius* among different varieties and tree ages

蔬菜品种 Vegetable variety	含水量/ ($g \cdot kg^{-1}$) Moisture	灰分/ ($g \cdot kg^{-1}$) Ash	蛋白质/ ($g \cdot kg^{-1}$) Protein	脂肪/ ($g \cdot kg^{-1}$) Fat	膳食纤维/ ($g \cdot kg^{-1}$) Dietary fiber	碳水化合物/ ($g \cdot kg^{-1}$) Carbohydrate	能量/ ($kJ \cdot kg^{-1}$) Energy
Estrella	876 a	15 b	44.2 b	2 a	22.2 a	41 c	1 700 c
Chaya	876 a	15 b	42.6 b	2 a	21.9 a	47 b	1 820 b
Chaya 1	870 b	15 b	42.8 b	2 a	21.7 a	48 b	1 800 b
Chaya 3	864 c	16 a	46.4 a	1 b	22.1 a	51 a	1 860 a
香椿 <i>T. sinensis</i>	852	—	17.0	4	18.0	91	470
菜心 Flowering Chinese cabbage	957	9	21.8	2	23.1	—	890
菠菜 <i>S. oleracea</i>	914	15	28.6	4	22.0	36	240

2.3 卡亚嫩枝叶矿物质元素含量分析

从表 3 可以看出,卡亚不同品种间、不同树龄间矿物质元素含量均存在差异。以 K 和 P 的含量较高,其中 P 的含量为 445~526 mg/kg,K 的含量均超过 5 100 mg/kg,与菠菜类似,但高于香椿和菜心。Chaya 中的 Mg 含量低于香椿,但高于菜心和菠菜;Ca 含量与菜心相当,而高于香椿和菠菜;Mn

含量高于菜心和菠菜,Fe 含量低于香椿和菠菜,而高于菜心,Zn 含量低于香椿。总体而言,卡亚嫩枝叶中矿物质元素含量在品种间差异较大,其中 Chaya 中矿物质元素含量均显著高于 Estrella。3 年生 Chaya 中的 P 和 K 含量显著高于 1 年生,而 1 年生 Chaya 中的 Na、Mg、Ca、Mn、Fe 和 Zn 含量均显著高于 3 年生。

表 3 不同品种和树龄卡亚嫩枝叶矿物质元素的比较

Table 3 Comparison of minerals elements in tender branches and leaves of <i>C. aconitifolius</i> among different varieties and tree ages								
蔬菜品种 Vegetable variety	P	Na	Mg	K	Ca	Mn	Fe	Zn
Estrella	445 c	20.2 c	698 c	5 110 c	606 c	36 c	12.5 c	3.96 b
Chaya	488 b	93.9 a	1 230 a	5 550 b	1 330 a	174 a	22.4 a	6.45 a
Chaya 1	487 b	93.9 a	1 230 a	5 540 b	1 340 a	176 a	22.3 a	6.43 a
Chaya 3	526 a	37.5 b	769 b	5 790 a	855 b	115 b	20.3 b	4.41 b
香椿 <i>T. sinensis</i>	193	46.3	2 239	3 547	960	—	39.0	31.46
菜心 Flowering Chinese cabbage	330	85.6	86	2 280	1 380	32	14.1	5.06
菠菜 <i>S. oleracea</i>	490	79.0	790	5 580	990	9	27.1	5.30

2.4 卡亚嫩枝叶氨基酸组成及营养分析

2.4.1 氨基酸组成 从表 4 可知,不同种类氨基酸含量在不同卡亚品种及树龄间存在差异。卡亚总氨基酸含量超过 40 g/kg,低于香椿和菠菜,但高于菜心。卡亚谷氨酸含量在所有氨基酸中最高,高于菜心,但低于香椿和菠菜。必需氨基酸含量为 16.83~18.42 g/kg,高于菜心和菠菜,但低于香椿;必需氨基酸/总氨基酸值为 0.42~0.44,高于香椿、菜心和菠菜,与菜心接近;赖氨酸/必需氨基酸值为 0.17~0.18,高于香椿,与菜心和菠菜相差不大。不同品种卡亚的氨基酸组成间丙氨酸、谷氨酸、精氨

酸、赖氨酸、天冬氨酸、缬氨酸、异亮氨酸、组氨酸差异不显著,其余氨基酸均存在显著差异;Chaya 中谷氨酸、天冬氨酸、组氨酸含量低于 Estrella,丙氨酸含量与 Estrella 相等,其余 13 种氨基酸含量均高于 Estrella;总体而言,Chaya 的氨基酸总量高于 Estrella。不同树龄卡亚间氨基酸含量亦存在一定差异,1 年生 Chaya 中丙氨酸、蛋氨酸、赖氨酸、丝氨酸、天冬氨酸、组氨酸、半胱氨酸含量低于 3 年生 Chaya,苯丙氨酸、缬氨酸、异亮氨酸含量 1 年生与 3 年生相等,其余 7 种氨基酸含量 1 年生高于 3 年生。

表 4 不同品种和树龄卡亚嫩枝叶中氨基酸的组成

Table 4 Composition of amino acids in tender branches and leaves of <i>C. aconitifolius</i> among different varieties and tree ages							
项目 Item	品种 Varieties		树龄 Tree age		香椿 <i>T. sinensis</i>	菜心 Flowering Chinese cabbage	菠菜 <i>S. oleracea</i>
	Estrella	Chaya	Chaya 1	Chaya 3			
苯丙氨酸/(g·kg ⁻¹) Phe	2.2 c	2.5 a	2.4 b	2.4 b	1.7	1.4	1.4
丙氨酸/(g·kg ⁻¹) Ala	2.6 b	2.6 b	2.6 b	3.0 a	4.8	2.9	5.9
蛋氨酸/(g·kg ⁻¹) Met	0.53 b	0.59 a	0.56 a	0.59 a	—	0.30	—
脯氨酸/(g·kg ⁻¹) Pro	1.6 c	1.7 b	1.8 a	1.7 b	—	1.8	4.5
甘氨酸/(g·kg ⁻¹) Gly	2.0 b	2.3 a	2.2 ab	2.1 ab	3.6	1.7	0.6
谷氨酸/(g·kg ⁻¹) Glu	6.3 a	6.2 a	6.4 a	5.6 b	9.3	4.8	22.7
精氨酸/(g·kg ⁻¹) Arg	3.3 a	3.5 a	3.5 a	2.9 b	3.9	1.8	9.8
赖氨酸/(g·kg ⁻¹) Lys	3.1 a	3.2 a	3.2 a	3.3 a	2.0	1.9	2.1
酪氨酸/(g·kg ⁻¹) Tyr	1.3 b	1.6 a	1.5 ab	1.4 ab	1.1	1.0	1.1
亮氨酸/(g·kg ⁻¹) Leu	3.3 b	3.6 a	3.7 a	3.5 a	5.2	1.5	0.8
丝氨酸/(g·kg ⁻¹) Ser	2.1 b	2.2 a	2.0 c	2.1 b	2.9	1.5	0.9
苏氨酸/(g·kg ⁻¹) Thr	2.0 c	2.2 a	2.1 b	2.0 c	3.0	1.5	5.8
天冬氨酸/(g·kg ⁻¹) Asp	4.3 a	4.1 ab	4.0 c	4.2 ab	6.5	0.5	13.8
缬氨酸/(g·kg ⁻¹) Val	2.3 a	2.4 a	2.4 a	2.4 a	4.6	2.2	0.6
异亮氨酸/(g·kg ⁻¹) Ile	1.8 a	1.9 a	1.9 a	1.9 a	3.5	1.5	0.7
组氨酸/(g·kg ⁻¹) His	0.98 a	0.95 a	0.96 a	0.98 a	2.41	0.75	0.43
半胱氨酸/(g·kg ⁻¹) Cys	0.30 b	0.43 a	0.42 a	0.45 a	—	0.02	—
必需氨基酸/(g·kg ⁻¹) EAA	16.83 d	18.42 a	18.21 b	17.91 c	21.10	11.32	12.50
非必需氨基酸/(g·kg ⁻¹) NEAA	23.18 b	23.55 a	23.46 a	22.58 c	43.41	15.75	58.63
总氨基酸/(g·kg ⁻¹) TAA	40.01 d	41.97 a	41.67 b	40.49 c	54.51	27.07	71.13
EAA/TAA	0.42	0.44	0.44	0.44	0.33	0.42	0.18
EAA/NEAA	0.73	0.78	0.78	0.79	0.49	0.72	0.21
Lys/EAA	0.18	0.17	0.18	0.18	0.09	0.17	0.17

注:同行数据后标不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。
Note:Data in the same row with different lowercase letters represent significant differences ($P<0.05$).

2.4.2 氨基酸营养 食物蛋白的营养价值主要取决于其所含有的 EAA 种类、数量和组成比例。卡亚 EAA/TAA 值>0.42,EAA/NEAA 值>0.73 (表 4),氨基酸组成符合 FAO/WHO 规定的 EAA/TAA 值为 0.4,EAA/NEAA 值为 0.6 的标准,说明卡亚氨基酸组成比例十分合理。由表 5 可知,卡亚样品中蛋氨酸+半胱氨酸的 RC 值最小,为第 1 限制性氨基酸,可配合其他食物提高其食用价值。

表 5 不同品种和树龄卡亚嫩枝叶中氨基酸 RAA、RC 及 EAAI 的比较
Table 5 Comparison of RAA,RC and EAAI in tender branches and leaves of *C. aconitifolius* among different varieties and tree ages

氨基酸种类 Amino acid	参数 Parameter	品种 Variety		树龄 Tree age	
		Estrella	Chaya	Chaya 1	Chaya 3
异亮氨酸 Ile	RAA	0.36	0.38	0.35	0.37
	RC	0.96	0.93	0.94	0.94
亮氨酸 Leu	RAA	0.38	0.41	0.37	0.41
	RC	1.00	1.01	0.99	1.04
赖氨酸 Lys	RAA	0.45	0.47	0.44	0.45
	RC	1.20	1.14	1.19	1.15
蛋氨酸+半胱氨酸 Met+Cys	RAA	0.19	0.24	0.21	0.22
	RC	0.50	0.57	0.57	0.57
苯丙氨酸+酪氨酸 Phe+Tyr	RAA	0.47	0.55	0.47	0.50
	RC	1.24	1.34	1.26	1.28
缬氨酸 Val	RAA	0.37	0.39	0.35	0.37
	RC	0.98	0.94	0.95	0.95
苏氨酸 Thr	RAA	0.40	0.44	0.37	0.40
	RC	1.06	1.08	0.99	1.04
EAAI /%		45.96	50.61	44.98	47.73

2.5 卡亚嫩枝叶营养成分的综合评价

将 2 个品种和 2 个树龄卡亚及香椿、菜心、菠菜 7 种材料的维生素(V_{B2}、V_C)、一般营养成分(蛋白质、脂肪、膳食纤维)、矿物质元素组成、氨基酸等 36 个数据标准化后进行主成分分析(PCA),结果见表 6。表 6 显示,提取前 3 个主成分,其累积贡献率为

EAAI 是比较氨基酸平衡优劣的指标,EAAI 值越大,说明氨基酸组成越均衡,蛋白质的质量和效率越高。卡亚中氨基酸的 EAAI>45%,说明卡亚的必需氨基酸种类比较齐全,蛋白质营养价值高,易于为人体吸收与利用。从 RAA 分析可知,品种 Chaya 相比于 Estrella 营养更全面,3 年生 Chaya 相比于 1 年生 Chaya 营养价值稍高。

94.650%;其中,第一主成分(PC1)贡献率为 43.754%,主要属于部分氨基酸指标;第二主成分(PC2)贡献率为 33.433%,主要属于部分氨基酸和膳食纤维指标;第三主成分(PC3)贡献率为 17.463%,主要属于矿物质元素指标。

表 6 不同品种、林龄卡亚及香椿、菜心、菠菜营养成分的主成分特征值和累积贡献率
Table 6 Initial eigenvalues of components and cumulative contribution rates of *C. aconitifolius* of different varieties and tree ages,*T. sinensis*,flowering Chinese cabbage and *S. oleracea*

主成分 Principal component	特征值 Eigenvalue	方差贡献率/% Variance contribution rate	累积贡献率/% Cumulative contribution rate
PC1	15.751	43.754	43.754
PC2	12.036	33.433	77.187
PC3	6.287	17.463	94.650

根据 PCA 结果,以每个 PC 对应的方差相对贡献率作为权重进行加权求和,构建卡亚、香椿、菜心和菠菜营养价值综合评价模型(F): $F=0.437\ 54F_1+0.334\ 33F_2+0.174\ 63F_3$,F₁、F₂和 F₃ 分别代表 PC1、PC2 和 PC3 3 个主成分得分。利用此模型对 7 种蔬菜材料的营养成分进行综合评

价,结果见表 7。从综合评价得分(表 7)可知,7 个材料的营养价值表现为 Chaya>Chaya 1>Chaya 3>香椿>Estrella>菜心>菠菜。因此,相比于其他蔬菜,Chaya 总体营养价值较高,且卡亚品种间差异较大,而树龄对 Chaya 营养价值的影响较小。

表 7 不同品种、林龄卡亚及香椿、菜心、菠菜营养成分的综合评价

Table 7 Component comprehensive scores of nutrient elements between *C. aconitifolius* of different varieties and forest ages, *T. sinensis*, flowering Chinese cabbage and *S. oleracea* L.

材料 Material	F1	F2	F3	综合评价 F Comprehensive assessment	排序 Sequence
Estrella	0.487	−0.205	−0.058	0.135	5
Chaya	0.747	0.014	0.559	0.429	1
Chaya 1	0.710	−0.015	0.476	0.389	2
Chaya 3	0.777	−0.182	0.570	0.379	3
香椿 <i>T. sinensis</i>	−0.893	2.076	−0.116	0.283	4
菜心 Flowering Chinese cabbage	−0.011	−0.538	−2.147	−0.559	6
菠菜 <i>S. oleracea</i>	−1.816	−1.151	0.714	−1.055	7

3 讨论与结论

卡亚是大戟科枝叶茂盛的多年生灌木,其嫩枝叶可以像菠菜一样烹调食用,是高营养价值的叶用绿色蔬菜,富含蛋白质、粗纤维、钙、钾、铁、类胡萝卜素及 V_C 等营养成分^[22]。但卡亚中氢氰酸、单宁、草酸等抗营养因子含量较高,不能直接生食,需经过焯、烫、炒等方式进行烹制后食用^[23-25]。卡亚生物产量高,再生能力强,可一年栽种多年利用^[26]。

由于生长环境对植物营养成分有一定的影响,本研究对引种自美国佛罗里达州的 2 个卡亚品种(Chaya 和 Estrella)及移栽 1 和 3 年的卡亚(Chaya)营养成分进行了分析和比较。研究表明,卡亚富含维生素,Chaya 中 V_C 含量超过 758 mg/kg,低于重庆木菠菜的 V_C 值(1 347 mg/kg)^[11]和美国本土种植卡亚叶片的 V_C 含量(1 647 mg/kg)^[22],这可能是选取的部位不同所致,也可能是不同的生长环境造成的差异;卡亚 V_C 含量高于香椿、菜心及菠菜,可以作为补充膳食维生素的蔬菜之一。卡亚嫩枝叶中 β-胡萝卜素含量最高达到 42.2 mg/kg,说明其具有较高的食用价值。卡亚中蛋白质含量较高,超过 42.6 g/kg,明显高于香椿、菜心及菠菜,且膳食纤维含量适中,类似于菜心和菠菜,说明卡亚口感较好,其中充足的膳食纤维又利于肠胃蠕动,商品价值较高。

食用卡亚嫩枝叶可提供大量的矿物质元素。本研究表明,卡亚中含有丰富的 K,其含量超过 5 100 mg/kg,远高于香椿、菜心,并高于前人所测定的卡亚中的 K 含量^[11,27],因此,卡亚可以作为补充 K 元素的理想蔬菜。1 年生 Chaya 中 Mg 含量高达 1 230 mg/kg,Estrella 和 3 年生 Chaya 嫩枝叶中 Mg 含量与赵海伊等^[11]的研究结果类似。Chaya 中 Ca 含量达到 1 330 mg/kg,与赵海伊等^[11]的测定结果一致,随着树龄的增加,卡亚嫩枝叶中的 Mg 和

Ca 含量有所降低。卡亚中 Zn 含量最高为 6.45 mg/kg,虽远低于香椿,但高于菜心和菠菜,而人体所需 Zn 含量为 15 mg/d,因此需食用其他含 Zn 量高的食物加以补充。

氨基酸是蔬菜中的重要营养成分,其种类、含量及组成对蔬菜营养价值具有重要的影响,其含量高低决定着食物的鲜美程度^[28]。本研究发现,卡亚嫩枝叶中含有 17 种氨基酸,其中 7 种人体必需氨基酸总量/总氨基酸值超过 0.42,表明其营养价值较高。卡亚嫩枝叶中的苯丙氨酸、蛋氨酸、赖氨酸、酪氨酸及半胱氨酸含量均高于香椿、菜心和菠菜。谷物中赖氨酸含量较低,且在加工过程中易被破坏,需要其他途径补充,卡亚可以作为补充赖氨酸的理想食物来源,有助于增强人体免疫力、提高钙质吸收、促进幼儿生长发育^[29-30]。卡亚谷氨酸和天冬氨酸含量最高分别为 6.4 和 4.3 g/kg,使卡亚具有较好的口感,且可增强食欲^[31]。但是,卡亚含有的 7 种必需氨基酸中,蛋氨酸+半胱氨酸为卡亚第 1 限制性氨基酸,需要通过搭配其他食物均衡相关营养。

将营养成分指标降维转化为 3 个主成分,可较好地反映出卡亚的综合信息,累积方差贡献率为 94.650%。根据 3 个主成分方差贡献率建立综合评价模型,结果显示,Chaya 综合得分最高,3 年生 Chaya 营养价值虽然略低于 1 年生 Chaya,但均高于香椿、Estrella、菜心和菠菜。综合比较表明,Chaya 品种属于营养价值较高的蔬菜,在以后的大面积推广种植中可作为卡亚的主栽品种,实现一年种植多年采收。

本研究对卡亚与香椿、菜心和菠菜 3 种蔬菜营养价值的对比分析表明,卡亚中富含维生素 C、β-胡萝卜素、蛋白质、脂肪、膳食纤维和 P、K、Ca、Mn 等矿物质元素及 17 种氨基酸,主要营养成分配比合理,综合营养价值高于香椿、菜心和菠菜,市场推广潜力较大。

[参考文献]

- [1] Jayashree K V, Gopukumar S T. Estimation of qualitative and quantitative phytochemical screening of *Cnidoscopus aconitifolius* latex [J]. Journal of Applied Science and Computations, 2018, 5(10): 1638-1648.
- [2] Parra T V, Rico G V, Carbajal M. Effect of defoliation on leaf growth, sexual expression and reproductive success of *Cnidoscopus aconitifolius* (Euphorbiaceae) [J]. Plant Ecology, 2004, 173(2): 153-160.
- [3] 游巧宁. 树菠菜叶营养成分分析及调节血糖作用研究 [D]. 重庆: 西南大学, 2010.
You Q N. Studies on the hypoglycemic effect of new resources Chaya [D]. Chongqing, Southwest University, 2010.
- [4] Ross-Ibarra J, Molina-Cruz A. The ethnobotany of Chaya: nutritious maya vegetable [J]. Economic Botany, 2002, 56(4): 350-365.
- [5] Jensen S A. Chaya, the mayan miracle plant [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2005, 85: 381-390.
- [6] Kuti J O, Kuti H O. Proximate composition and mineral content of two edible species of *Cnidoscopus* (tree spinach) [J]. Applant Foods for Human Nutrition, 1999, 53: 275-273.
- [7] Joseph O K, Hima B K. Cyanogenic glycosides content in two edible leaves of tree spinach (*Cnidoscopus* spp.) [J]. Food Composition and Analysis, 2006, 19: 556-561.
- [8] Sliva M, Carneiro M S D S, Pinto A P, et al. Evaluation of the chemical composition of woody forage silages of the Brazilian semiarid [J]. Semina Ciencias Agrarias, 2015, 36(1): 571-577.
- [9] Diaz-Bolio J. Chaya (*Cnidoscopus chayamansa*, Euphorbiaceae), a marvelous food (in Spanish) [J]. Tierra, 1975, 30: 407-428.
- [10] 周才琼, 游巧宁. 卡亚叶总黄酮提取物对四氧嘧啶诱导的糖尿病大鼠降血糖作用 [J]. 食品科学, 2011, 32(5): 291-295.
Zhou C Q, You Q N. Hypoglycemic effect of total flavonoids extract from Chaya leaves in alloxan-induced diabetic rats [J]. Food Science, 2011, 32(5): 291-295.
- [11] 赵海伊, 游巧宁, 于文书, 等. 重庆产木菠菜的营养成分及营养价值评价 [J]. 食品科学, 2011, 32(5): 267-269.
Zhao H Y, You Q N, Yu W S, et al. Nutrients and nutritional value of tree spinach grown in Chongqing [J]. Diet Science, 2011, 32(5): 267-269.
- [12] 古敏, 张石虎, 周玮, 等. 树菠菜作为新型蛋白饲料资源的研究 [J]. 饲料研究, 2021(13): 126-129.
Gu M, Zhang S H, Zhou W, et al. Research on *Cnidoscopus aconitifolius* as a new protein feed resource [J]. Feed Research, 2021(13): 126-129.
- [13] 尚秀华, 高丽琼, 张沛健, 等. 引种新资源卡亚扦插技术研究 [J]. 桉树科技, 2017, 34(3): 34-37.
Shang X H, Gao L Q, Zhang P J, et al. Study on rooted cutting technology for *Cnidoscopus aconitifolius* [J]. Eucalypt Science & Technology, 2017, 34(3): 34-37.
- [14] 杨月欣, 王光亚, 潘兴昌. 中国食物成分表 [M]. 北京: 北京大学医学出版社, 2002: 106-267.
Yang Y X, Wang G Y, Pan X C. China food composition [M]. Beijing: Peking University Medical Press, 2002: 106-267.
- [15] 原远, 王春政, 周贤玉. 六种菜心氨基酸组成及营养价值评价 [J]. 南方农业学报, 2019, 50(10): 2271-2277.
Yuan Y, Wang C Z, Zhou X Y, et al. Amino acid composition and nutritional value evaluation of six kinds of flowering Chinese cabbages (*Brassica campestris* L. ssp. *chinensis* var. *utilis* Tsen et Lee) [J]. Journal of Southern Agriculture, 2019, 50(10): 2271-2277.
- [16] 汪建飞, 董彩霞, 沈其荣. 氮素不同形态对比对菠菜体内游离氨基酸含量和相关酶活性的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 2007, 13(4): 664-670.
Wang J F, Dong C X, Shen Q R. Effect of NH_4^+ -N/ NO_3^- -N ratios on the free amino acids and three kinds of enzymes of nitrogen metabolism in spinach (*Spinacia oleracea* L.) shoot [J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2007, 13(4): 664-670.
- [17] 卢冉, 王炳智, 田英姿. 不同品种杏仁氨基酸组成分析及综合评价 [J]. 食品科学, 2021, 42(24): 229-235.
Lu R, Wang B Z, Tian Y Z. Analysis and comprehensive evaluation of amino acid compositions of apricot seed kernels from different cultivars [J]. Diet Science, 2021, 42(24): 229-235.
- [18] 何洁, 莫仁甫, 劳水兵, 等. 紫果西番莲和其它 5 种水果中氨基酸组分分析 [J]. 食品工业科技, 2018, 39(6): 298-300.
He J, Mo R F, Lao S B, et al. Analysis of amino acid composition in purple passion fruit and other 5 fruits [J]. Science and Technology of Food Industry, 2018, 39(6): 298-300.
- [19] Yang F, Huang X J, Zhang C L, et al. Amino acid composition and nutritional value evaluation of Chinese chestnut (*Castanea mollissima* Blume) and its protein subunit [J]. RSC Advances, 2018, 8(5): 2653-2659.
- [20] 朱圣陶, 吴坤. 蛋白质营养价值评价: 氨基酸比值系数法 [J]. 营养学报, 1988(2): 187-190.
Zhu S T, Wu K. Nutritional evaluation of protein: ratio coefficient of amino acid [J]. Acta Nutrimenta Sinica, 1988(2): 187-190.
- [21] Oser B L. An integrated essential amino acid index for predicting the biological value of proteins [M]//Albanese A A. Protein and amino acid nutrition [M]. New York: Academic Press, 1959: 281-295.
- [22] Donkoh A, Atuahene C C, Poku-prempeh Y B, et al. The nutritive value of chaya leaf meal (*Cnidoscopus aconitifolius* (Mill.) Johnston): studies with broiler chickens [J]. Animal Feed Science and Technology, 1999, 77(1/2): 163-172.
- [23] 范东翠, 周才琼. 卡亚抗营养因子研究及不同加工处理对氰苷含量的影响 [J]. 食品科学, 2010, 31(3): 110-113.
Fan D C, Zhou C Q. Chaya (*Cnidoscopus* spp.) leaves: antinutritional factor analysis and effect of treatment processing on cyanogenic glycosides content [J]. Food Science, 2010, 31(3): 110-113.

镉的形态影响 [J]. 农业环境科学学报, 2018, 37(2): 250-258.

Liu Y L, Tie B Q, Li Y X L, et al. Isolation of a Cd-resistant bacterium and its effect on the speciation of Cd in soil [J]. Journal of Agro-Environment Science, 2018, 37(2): 250-258.

[34] 林 海, 朱亦珺, 董颖博, 等. 一株耐酸耐铜细菌的选育及其吸附铜离子的特性 [J]. 环境化学, 2013, 32(4): 599-604.

Lin H, Zhu Y J, Dong Y B, et al. Breeding and adsorption properties investigation of a strain resistant to acid and copper ions [J]. Environmental Chemistry, 2013, 32(4): 599-604.

[35] 韦革宏, 马占强. 根瘤菌-豆科植物共生体系在重金属污染环境修复中的地位、应用及潜力 [J]. 微生物学报, 2010, 50(11): 1421-1430.

Wei G H, Ma Z Q. Application of rhizobia-legume symbiosis for remediation of heavy-metal contaminated soils [J]. Acta Microbiologica Sinica, 2010, 50(11): 1421-1430.

[36] 李晓洁. 基于植物内生菌 Lk9 重金属吸附剂的制备与应用 [D]. 长沙: 湖南大学, 2014.

Li X J. Preparation and application of heavy metal biosorbent based on endophytic bacterial Lk9 [D]. Changsha: Hunan University, 2014.

[37] 郝秀丽. 刺槐内共生细菌的重金属抗性机制及其与植物的联合修复作用 [D]. 陕西杨凌: 西北农林科技大学, 2013.

Hao X L. Metal resistance determinants in endophytic/symbiotic bacteria isolated from *Robinia pseudoacacia* and phytoremediation of metal aided by robinia plant-rhizobacteria symbiosis [D]. Yangling, Shaanxi: Northwest A&F University, 2013.

(上接第 114 页)

[24] 范东翠. 不同加工处理对卡亚中单宁含量影响 [J]. 食品研究与开发, 2012, 33(6): 20-22.

Fan D C. Chaya (*Cnidioscolus* spp.) leaves: effect of treatment processing on tannin content [J]. Food Research and Development, 2012, 33(6): 20-22.

[25] 范东翠, 俞彦波, 胡 建, 等. 不同加工处理对卡亚草酸含量影响 [J]. 食品科技, 2011, 36(4): 71-73, 77.

Fan D C, Yu Y B, Hu J, et al. Effect on Chaya (*Cnidioscolus* spp.) leaves oxalic acid content in treatment processing [J]. Food Science and Technology, 2011, 36(4): 71-73, 77.

[26] Fabiola E E, Ilca O C, Victor P T, et al. Chemical composition of the epicuticular wax of *Cnidioscolus aconitifolius* [J]. Rev Soc Quim Mdx, 2004, 48(1): 24-25.

[27] 张奇凤, 彭姗姗. 8 种蔬菜中的 18 种微量元素的分析 [J]. 江西科学, 1995, 13(3): 180-182.

Zhang Q F, Peng S S. Eighteen microelements analysis of eight vegetables [J]. Jiangxi Science, 1995, 13(3): 180-182.

[28] 欧行奇, 李新华, 朱彬甘. 甘薯茎尖与常见叶菜类蔬菜氨基酸含量及组成的比较分析 [J]. 氨基酸和生物资源, 2007, 29(3): 70-74.

Ou X Q, Li X H, Zhu B G. Comparison of amino acid content and composition between vegetable sweet potato tips and leaf vegetables [J]. Amino Acids & Biotic Resources, 2007, 29(3): 70-74.

[29] Liao S F, Wang T J, Regmi N. Lysine nutrition in swine and the related monogastric animals: muscle protein biosynthesis and beyond [J]. Springer Plus, 2015, 4(1): 1-12.

[30] Powell C D, Chowdhury M K, Bureau D P. Assessing the bio-availability of l-lysine sulfate compared to l-lysine HCl in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) [J]. Aquaculture, 2015, 448: 327-333.

[31] 杨 暹, 郭巨先, 刘玉涛. 华南特产蔬菜菜心的营养成分及营养评价 [J]. 食品科技, 2002, 27(9): 74-76.

Yang X, Guo J X, Liu Y T. The nutritive composition and assessment of *Brassica parachinensis* [J]. Food Science and Technology, 2002, 27(9): 74-76.