

泰州地区春季部分野菜主要营养和抗营养成分分析

王弯弯, 张雪霞, 朱官兴, 周静慧, 茄海云

(泰州学院医药与化学化工学院 江苏泰州 225300)

摘要:为筛选适合泰州地区发展的优质野菜资源,本研究选取8种泰州本土野菜和8种引种野菜,在标准化栽培条件下进行种植试验,系统比较分析其营养成分和抗营养因子含量,综合评价其营养品质与食用安全性。结果表明,在仅施加少量有机肥时,16种野菜的维生素C含量(6.80~1 066.00 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)、总黄酮含量(0.25~36.10 $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$)、类胡萝卜素含量(10.60~222.40 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)以及矿质营养元素含量均很丰富,且硝态氮含量(7.96~409.63 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)、草酸含量(8.10~3 205.20 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)及重金属元素(Pb、Cd)含量普遍低于食品安全限值。但有机肥施用可导致部分野菜中As累积较高(0.05~2.80 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)。本土野菜中,香椿、马兰头、南苜蓿等的综合营养价值较高,值得深入开发;灰灰菜、番杏、露草等需关注硝态氮累积问题,白凤菜、芝麻菜需警惕重金属风险。本研究结果为泰州地区野菜资源的开发利用提供了科学依据。

关键词:野菜;泰州地区;春季;营养;比较

中图分类号:S647

文献标志码:A

文章编号:1673-2871(2025)12-147-09

Analysis of major nutritional and anti-nutritional components in selected wild vegetables from Taizhou region during spring

WANG Wanwan, ZHANG Xuexia, ZHU Guanxing, ZHOU Jinghui, RUI Haiyun

(College of Pharmacy and Chemistry & Chemical Engineering, Taizhou University, Taizhou 225300, Jiangsu, China)

Abstract: To identify high-quality wild vegetable resources suitable for cultivation in Taizhou region, this study systematically evaluated the nutritional and safety characteristics of both native and introduced wild vegetable species. Under standardized cultivation conditions (without chemical fertilizers or pesticides, with minimal organic fertilizer application), eight native Taizhou wild vegetables and eight introduced species were sampled and analyzed for their nutritional and anti-nutritional components. The results demonstrated that all 16 wild vegetable species exhibited abundant nutritional content, including vitamin C content(6.80-1 066.00 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$), total flavonoids content(0.25-36.10 $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$), carotenoids content (10.60-222.40 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$), and mineral elements, while maintaining nitrate nitrogen content(7.96-409.63 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$), oxalic acid content(8.10-3 205.20 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$), and heavy metal elements(Pb, Cd)below food safety thresholds. However, organic fertilizer application may lead to arsenic accumulation in some species(0.05-2.80 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$). The native species *Toona sinensis*, *Kallimeris indica*, and *Medicago polymorpha* demonstrated optimal nutritional profiles, suggesting strong potential for agricultural development. In contrast, *Chenopodium album*, *Tetragonia tetragonoides*, and *Mesembryanthemum cordifolium* exhibited significant nitrate accumulation, warranting careful cultivation management. Additionally, *Gynura divaricata* and *Eruca sativa* showed tendencies for heavy metal bioaccumulation, necessitating rigorous safety monitoring in production systems. This study provides a scientific basis for the development and utilization of wild vegetable resources in the Taizhou region.

Key words: Wild vegetable; Taizhou region; Spring; Nutrition; Comparison

随着环境污染加剧以及化肥、农药使用量的不断增加,传统的栽培蔬菜出现了诸如品种退化、硝态氮含量超标、重金属污染、农药残留以及病虫害严重等一系列问题^[1-3],栽培蔬菜的品种多样性以及食用安全问题逐步凸显。而野菜由于多生于郊区

田埂、旷野荒地等污染程度较低的自然环境中,其资源多样,多数具有较高的营养和药用保健价值^[4],且农药残留等相对较低,作为天然无公害的绿色食品可以满足人们对多样性和健康的需求^[5]。因此,拥有“天然蔬菜”美称的野菜越来越多地受到了广

收稿日期:2025-05-07;修回日期:2025-08-06

基金项目:江苏高校“青蓝工程”优秀青年骨干教师培养项目;泰州市科技支撑(农业)项目(TN202222)

作者简介:王弯弯,女,副教授,研究方向为植物生理学。E-mail:wanwanw@tzu.edu.cn

通信作者:芮海云,女,教授,研究方向为植物生理学。E-mail:njrtz@sina.com

大消费者的青睐,一些野菜加工产品如猴腿菜、蕨菜等更是高价出口到国际市场^[6-7]。

虽然我国野菜资源极其丰富,可食用的野菜约213科1822种,常被采食的有300余种,其中江苏省农田生态系统中常见的野生蔬菜就有36科120种^[8],但由于许多野菜形似杂草,其价值未能得到充分的认识和重视,目前已被开发利用的仅占1%~2%,大量资源被浪费闲置^[9]。同时,因受到经济利益的驱使,部分被认同的野菜资源被过度采集,导致这些优质野菜资源蕴藏量减少甚至枯竭,生态平衡遭到严重破坏,如我国西部一些省份,过度采摘菜、甘草等野菜资源,导致水土流失严重,土地沙漠化程度加剧。因此,如何科学地开发和利用野生蔬菜资源成为目前亟待解决的问题,而解决这一问题的第一步则是需要比较各野菜的特点,并进行野菜的栽培研究。

不同野菜具有不同的食用和药用价值,因此在选择适合栽培的野菜种质时,确定合适的筛选标准最为关键。目前,筛选适合开发野菜的标准往往有以下几点:(1)能适应栽培地土壤和气候环境;(2)栽培后依然能保持较丰富的营养成分和较低的抗营养成分;(3)栽培后野菜的特色营养依然能够保存。虽然已有一些文献涉及野菜营养或抗营养成分的比较^[10-13],但由于野菜来源于市售或者田间野外直接采摘,植物生长的环境既无法确定又相差巨大,导致结果可信度较低。此外,野菜栽培时是否会同样遇到栽培蔬菜面临的硝态氮含量升高、重金属积累等问题也需要关注。鉴于此,为筛选适合泰州地区开发的野菜资源,笔者在前期筛选可以在泰州地区正常生长的野菜种质的基础上,对泰州地产的8种野菜以及引种的8种野菜在同等条件下栽培、采摘,并同时对各营养和抗营养成分含量进行检测,综合比较各野菜的营养价值,以期为推荐适合在泰州地区开发的特色野菜奠定基础。

1 材料与方法

1.1 材料

试验材料为2022—2023年冬春季在泰州学院人工气候室采用统一模式种植的16种野菜,野菜种子来源于南京农业大学生命科学学院。种植过程中不施加农药化肥,仅在栽种前施加南京宁粮生物肥料有限公司生产的精制豆粕中药材型有机肥[登记证号苏农肥(2007)准字0141-02号]0.5 kg·m⁻²。

栽培土壤为黄壤土,土层薄,有机质含量少,总C、总N含量(w,后同)分别为0.35%、0.18%,pH约7.7,盐分含量约为0.072%。各野菜的具体信息详见表1。4月下旬取各野菜的可食用部分。部分材料经蒸馏水清洗后,80℃干燥至恒质量,磨成粉末,过筛后用于检测总黄酮和矿质元素含量等。其他指标的检测用新鲜材料。本研究采用完全随机设计,每4棵植株的样本混合作为1个生物重复,每个混合样本的每个指标重复测定3次,试验结果以平均值±标准差显示。

1.2 测定指标与方法

1.2.1 总黄酮含量的测定 采用70%乙醇微波辅助索氏提取仪提取总黄酮,以芦丁为标品,采用硝酸铝法测定总黄酮含量,具体步骤参考尉芹等^[15]的方法。

1.2.2 维生素C含量的测定 采用2%草酸溶液提取维生素C,通过2,2-联吡啶分光光度法测定样品中维生素C含量,具体步骤参考方国桢等^[16]的方法。

1.2.3 类胡萝卜素含量的测定 采用95%乙醇、丙酮、水体积比为4.5:4.5:1的混合液暗中提取类胡萝卜素,采用分光光度计测定提取液在663、646、470 nm下的吸光度,采用Arnon法计算出叶绿素a(C_a)和叶绿素b(C_b)含量,再根据(1000 A₄₇₀ - 3.27 C_a - 104 C_b) / 229计算类胡萝卜素含量^[17]。

1.2.4 矿质元素含量的测定 取各样品100 mg,经去离子水洗涤数次、105℃杀青15 min、80℃烘干48 h后,将样品粉碎。粉碎的样品经35%HNO₃、100℃消化30 min后,采用电感耦合等离子体发射光谱仪(Prodigy型, Leeman Labs Inc. 美国)检测其中各矿质元素含量。各元素含量均以单位干质量所含矿质元素含量表示。

1.2.5 硝态氮含量的测定 采用水杨酸法测定硝态氮含量^[18]。取各样品100 mg,加1 mL蒸馏水后煮沸10 min,冷却后8000g离心;取上清液500 μL加100 μL 5%水杨酸-硫酸溶液,混匀静置10 min后加8% NaOH溶液中和,冷却至室温后加水定容至1.00 mL,在415 nm波长下测定吸光度。

1.2.6 草酸含量的测定 采用磺基水杨酸法测定草酸含量^[19]。取各样品粉末100 mg加1 mL蒸馏水,沸水中提取30 min。冷却后取上清液500 μL依次加入200 μL 0.5 mg·mL⁻¹的Fe³⁺标准溶液、2.00 mL Clark-lubs缓冲液(pH=2.4)、200 μL 5%磺基水杨酸,蒸馏水定容至5.00 mL后在503 nm波长下测定吸光度。

表1 试验涉及野菜材料的基本信息
Table 1 Basic information of wild vegetable materials in the experiment

序号 No.	野菜名称 Wild vegetable name	科/属 Family/ Genus	产地/引种 Native/ Introduced	可食部分 Edible parts	主要功效 Main benefits ^[14]
1	香椿 <i>Toona sinensis</i>	楝科香椿属 Meliaceae/ <i>Toona</i>	地产 Native	嫩茎叶 Shoots	治疗风寒、风湿痹痛、胃痛、痢疾 Common cold, rheumatic arthralgia, gastralgia and dysentery
2	菊花脑 <i>Dendranthemum nankingense</i>	菊科菊属 Asteraceae/ <i>Dendranthema</i>	地产 Native	嫩茎叶 Shoots	清热解毒,凉血,调中开胃,降血压 Detoxification, blood cooling, digestive regulation, and antihypertension
3	马兰头 <i>Kalimeris indica</i>	菊科马兰属 Asteraceae/ <i>Kalimeris</i>	地产 Native	嫩茎叶 Shoots	凉血止血,清热利湿,解毒消肿 Blood-cooling, heat-clearing, and detoxifying effects
4	白凤菜 <i>Gynura divaricata</i>	菊科菊三七属 Asteraceae/ <i>Gynura</i>	引种 Introduced	嫩茎叶 Shoots	清热解毒,舒筋接骨,凉血止血 Detoxification, sinew-bone relaxing, and blood cooling
5	紫背天葵 <i>Gynura bicolor</i>	菊科菊三七属 Asteraceae/ <i>Gynura</i>	引种 Introduced	嫩茎叶 Shoots	清热消肿,止血生血 Heat-clearing, anti-edema, hemostatic and hematopoietic
6	南苜蓿 <i>Medicago polymorpha</i>	豆科苜蓿属 Fabaceae/ <i>Medicago</i>	地产 Native	嫩茎叶 Shoots	清热解毒,利湿退黄,通淋排石 Detoxifying, anti-jaundice and lithotriptic
7	紫花苜蓿 <i>Medicago sativa</i>	豆科苜蓿属 Fabaceae/ <i>Medicago</i>	引种 Introduced	嫩茎叶 Shoots	抗氧化,保肝护眼,降血脂降糖 Antioxidant, liver-eye protection and lipid-glucose lowering
8	巢菜 <i>Vicia gigantea</i>	豆科野豌豆属 Fabaceae/ <i>Vicia</i>	地产 Native	嫩茎叶 Shoots	活血平胃,利五脏,明目,外敷可治疗疮 Blood circulation-promoting, viscera-regulating, vision-improving and topical anti-furunculosis
9	露草 <i>Mesembryanthemum cordifolium</i>	番杏科日中花属 Aizoaceae/ <i>Mesembryanthemum</i>	引种 Introduced	嫩茎叶 Shoots	明目护肝 Vision-improving and liver-protecting
10	番杏 <i>Tetragonia tetragonoides</i>	番杏科番杏属 Aizoaceae/ <i>Tetragonia</i>	引种 Introduced	嫩茎叶 Shoots	清热解毒,祛风消肿 Heat-toxin clearing and anti-edema
11	水芹 <i>Oenanthe javanica</i>	伞形科水芹属 Apiaceae/ <i>Oenanthe</i>	地产 Native	嫩茎叶 Shoots	清热利湿,止血,降血压 Heat-clearing, hemostatic, and hypotensive
12	冬寒菜 <i>Malva verticillata</i> var. <i>crispa</i>	锦葵科锦葵属 Malvaceae/ <i>Malva</i>	引种 Introduced	幼苗、嫩茎叶 Seedlings and shoots	清热排毒,消暑解渴,减肥,抗疲劳 Heat-toxin clearing, summerheat relief, weight loss, anti-fatigue
13	芝麻菜 <i>Eruca sativa</i>	十字花科芝麻菜属 Brassicaceae/ <i>Eruca</i>	引种 Introduced	幼苗、嫩茎叶 Seedlings and shoots	清热止血,清肝明目 Heat-clearing, vision-improving and liver-protecting
14	灰灰菜 <i>Chenopodium album</i>	藜科藜属 Amaranthaceae/ <i>Chenopodium</i>	地产 Native	嫩茎叶 Shoots	清热祛湿,杀虫,止泻痢,止痒 Heat clearing, parasiticidal, antidiarrheal, antipruritic
15	费菜 <i>Sedum aizoon</i>	景天科景天属 Crassulaceae/ <i>Sedum</i>	引种 Introduced	嫩茎叶 Shoots	止血,止痛,散瘀消肿,增强免疫力 Hemostatic, analgesic, anti-edema, immunostimulant
16	薤白 <i>Allium macrostemon</i>	百合科葱属 Amaryllidaceae/ <i>Allium</i>	地产 Native	鳞茎或整株 Bulbs or whole plants	通阳散结,行气导滞 Yang-unblocking and prokinetic

1.2.7 营养价值综合比较 将各野菜有益营养含量的最高值设为1,抗营养成分含量的最高值设为-1,其他与之相比,并将同类项相加,获得各野菜的营养、抗营养成分以及综合两者的相对值,再按数值从高到低排序。

1.3 数据处理

试验数据的处理和相关分析采用单因素方差

分析法(One-Way ANOVA)在 Statistica 6.0 软件中完成,组间两两比较采用 LSD 检验。

2 结果与分析

2.1 维生素C、总黄酮和类胡萝卜素含量比较

本研究测定了16种野菜中维生素C、总黄酮和类胡萝卜素含量,结果如表2所示。维生素C含量

表 2 16 种野菜维生素 C、总黄酮和类胡萝卜素含量比较

Table 2 Comparison of vitamin C, total flavonoid and carotenoid content among 16 wild vegetable species

序号 No.	野菜名称 Wild vegetable name	w(维生素 C) Vitamin C content/ ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)	w(总黄酮) Total flavonoids content/ ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$)	w(类胡萝卜素) Carotenoids content/($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)
1	香椿 <i>Toona sinensis</i>	1 066.0 \pm 5.8 a	33.16 \pm 0.36 b	222.41 \pm 8.73 a
2	菊花脑 <i>Dendranthemum nankingense</i>	280.8 \pm 5.8 hi	3.60 \pm 0.30 i	121.80 \pm 7.56 bc
3	马兰头 <i>Kalimeris indica</i>	761.1 \pm 5.0 d	36.10 \pm 0.36 a	57.37 \pm 16.53 de
4	白凤菜 <i>Gynura divaricata</i>	25.0 \pm 6.0 kl	26.16 \pm 0.50 e	33.32 \pm 2.80 ef
5	紫背天葵 <i>Gynura bicolor</i>	308.4 \pm 5.1 hi	14.51 \pm 0.31 f	57.31 \pm 5.48 de
6	南苜蓿 <i>Medicago polymorpha</i>	937.6 \pm 5.1 bc	12.14 \pm 0.42 g	127.83 \pm 3.19 b
7	紫花苜蓿 <i>Medicago sativa</i>	988.9 \pm 6.3 b	31.91 \pm 0.36 c	51.14 \pm 21.54 def
8	巢菜 <i>Vicia gigantea</i>	344.3 \pm 6.6 gh	0.73 \pm 0.26 k	214.85 \pm 12.61 a
9	露草 <i>Mesembryanthemum cordifolium</i>	43.7 \pm 5.8 k	0.39 \pm 0.26 k	10.58 \pm 5.04 f
10	番杏 <i>Tetragonia tetragonoides</i>	492.6 \pm 3.4 e	0.73 \pm 0.31 k	13.72 \pm 6.67 f
11	水芹 <i>Oenanthe javanica</i>	411.0 \pm 5.8 fg	9.61 \pm 0.36 h	86.48 \pm 4.64 cd
12	冬寒菜 <i>Malva verticillata</i> var. <i>crispa</i>	244.4 \pm 6.7 i	2.21 \pm 0.42 j	188.26 \pm 43.96 a
13	芝麻菜 <i>Eruca sativa</i>	438.0 \pm 5.1 ef	1.03 \pm 0.21 k	76.63 \pm 10.99 d
14	灰灰菜 <i>Chenopodium album</i>	738.5 \pm 6.9d	29.78 \pm 0.51 d	76.87 \pm 14.04 d
15	费菜 <i>Sedum aizoon</i>	891.8 \pm 6.0 c	36.64 \pm 0.20 a	27.46 \pm 6.67 ef
16-1	薤白叶 <i>Allium macrostemon</i>	85.6 \pm 8.9 j	0.39 \pm 0.26 k	55.49 \pm 7.80 de
16-2	薤白鳞茎 <i>Allium macrostemon</i>	6.8 \pm 6.0 l	0.25 \pm 0.18 k	ND

注:同列不同小写字母表示在 0.05 水平差异显著。ND 表示未检测到。下同。

Note: Different small letters in the same column indicate significant difference at 0.05 level. ND represents not detected. The same below.

范围为 6.8~1 066.0 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ (均值 0.48 $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$),其中香椿幼嫩茎叶的维生素 C 含量最高,分别是薤白鳞茎和薤白地上部含量的 156.8 倍和 12.5 倍;总黄酮含量为 0.25~36.64 $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ (均值 14.08 $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$),其中费菜的总黄酮含量最高,分别是薤白鳞茎和薤白地上部含量的 146.6 倍和 93.9 倍;类胡萝卜素含量为 10.58~222.41 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ (均值 88.8 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$),其中香椿的含量最高,是含量最低的露草的 21.0 倍。

2.2 硝态氮和草酸含量比较

在种植过程中未使用化肥的 16 种野菜的硝态氮含量在 7.96~409.63 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ 范围内波动,平均值为 87.46 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ 。其中,巢菜的硝态氮含量最低,仅为 7.96 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$;薤白叶、南苜蓿、冬寒菜的硝态氮含量相对较低,在 31 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ 左右;番杏、露草、马兰头和菊花脑等中的硝态氮含量在 100 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ 左右;灰灰菜的硝态氮含量最高。本文涉及的 16 种野菜的草酸含量相差较大,介于 8.1~3 205.2 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ 范围内,平均值为 823.8 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ 。其中白凤菜、紫背天葵、薤白叶和马兰头的草酸含量低于 100 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$,高于 100 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ 的有灰灰菜、番杏、香椿、露草、巢菜和南苜蓿等 13 种野菜(表 3)。

2.3 矿质元素含量比较

表 4 和表 5 中显示,笔者检测的 16 种野

表 3 16 种野菜的硝态氮和草酸含量比较

Table 3 Comparison of nitrate nitrogen and oxalic acid content in 16 wild vegetable species ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)

序号 No.	野菜名称 Wild vegetable name	w(硝态氮) Nitrate nitrogen content	w(草酸) Oxalic acid content
1	香椿 <i>Toona sinensis</i>	69.07 \pm 1.70 f	1 593.3 \pm 14.7 c
2	菊花脑 <i>Dendranthemum nankingense</i>	97.22 \pm 2.22 e	458.1 \pm 17.9 i
3	马兰头 <i>Kalimeris indica</i>	98.70 \pm 3.39 e	97.0 \pm 19.5 m
4	白凤菜 <i>Gynura divaricata</i>	50.00 \pm 2.00 h	8.1 \pm 6.4 n
5	紫背天葵 <i>Gynura bicolor</i>	44.63 \pm 1.40 i	91.5 \pm 25.1 m
6	南苜蓿 <i>Medicago polymorpha</i>	30.93 \pm 0.85 k	1 010.0 \pm 43.4 f
7	紫花苜蓿 <i>Medicago sativa</i>	57.41 \pm 1.70 g	841.5 \pm 8.5 h
8	巢菜 <i>Vicia gigantea</i>	7.96 \pm 2.31 m	1 097.0 \pm 3.2 e
9	露草 <i>Mesembryanthemum cordifolium</i>	115.37 \pm 1.80 d	1 237.8 \pm 50.0 d
10	番杏 <i>Tetragonia tetragonoides</i>	124.81 \pm 1.16 c	2 853.3 \pm 11.1 b
11	水芹 <i>Oenanthe javanica</i>	15.19 \pm 2.25 l	321.1 \pm 25.5 k
12	冬寒菜 <i>Malva verticillata</i> var. <i>crispa</i>	32.41 \pm 1.16 k	406.3 \pm 3.2 j
13	芝麻菜 <i>Eruca sativa</i>	57.04 \pm 3.26 g	498.9 \pm 69.6 i
14	灰灰菜 <i>Chenopodium album</i>	409.63 \pm 3.90 a	3 205.2 \pm 6.4 a
15	费菜 <i>Sedum aizoon</i>	36.85 \pm 2.25 j	954.4 \pm 5.6 g
16-1	薤白叶 <i>Allium macrostemon</i>	30.74 \pm 1.70 k	93.3 \pm 14.7 m
16-2	薤白鳞茎 <i>Allium macrostemon</i>	208.89 \pm 2.00 b	237.8 \pm 20.0 l

表4 16种野菜的大量元素含量比较

Table 4 Comparison of macroelements content in 16 wild vegetable species (mg·g⁻¹)

序号 No.	野菜名称 Wild vegetable name	w(K)	w(Ca)	w(P)	w(Mg)
1	香椿 <i>Toona sinensis</i>	15.88±0.74 g	8.27±0.78 ij	7.85±0.65 a	3.00±0.10 ij
2	菊花脑 <i>Dendranthemum nankingense</i>	22.29±1.37 d	6.60±0.43 j	4.51±0.41 cd	3.76±0.42 hi
3	马兰头 <i>Kalimeris indica</i>	24.23±0.42 c	6.37±0.47 j	5.37±0.50 c	5.48±0.46 ef
4	白凤菜 <i>Gynura divaricata</i>	20.44±0.39 de	12.14±1.20 efg	2.83±0.35 fg	9.47±0.39 b
5	紫背天葵 <i>Gynura bicolor</i>	27.04±0.76 b	15.73±0.16 cd	4.06±0.94 de	13.09±0.64 a
6	南苜蓿 <i>Medicago polymorpha</i>	16.99±1.73 fg	12.55±0.24 ef	4.68±0.47 cd	3.94±0.07 gh
7	紫花苜蓿 <i>Medicago sativa</i>	16.48±0.90 g	13.54±0.85 de	3.13±0.31 efg	4.47±0.35 gh
8	巢菜 <i>Vicia gigantea</i>	19.47±0.31 e	7.97±1.99 ij	6.61±0.39 b	3.70±0.30 hi
9	露草 <i>Mesembryanthemum cordifolium</i>	29.67±0.97 a	10.97±0.83 fgh	4.70±0.20 cd	13.77±0.85 a
10	番杏 <i>Tetragonia tetragonoides</i>	28.68±0.74 ab	9.46±0.43 hi	3.96±0.22 def	8.90±0.10 bc
11	水芹 <i>Oenanthe javanica</i>	2.74±0.74 i	16.66±0.78 c	4.76±0.14 cd	8.45±0.09 c
12	冬寒菜 <i>Malva verticillata</i> var. <i>crispa</i>	19.28±0.28 e	9.89±1.06 ghi	5.68±0.77 bc	4.76±0.18 fg
13	芝麻菜 <i>Eruca sativa</i>	18.54±1.18 ef	25.53±1.82 a	4.92±0.63 cd	6.17±0.32 de
14	灰灰菜 <i>Chenopodium album</i>	27.54±0.29 b	19.65±0.83 b	4.11±0.35 de	6.42±0.50 d
15	费菜 <i>Sedum aizoon</i>	11.24±0.74 h	26.52±0.92 a	2.07±0.25 g	1.42±0.08 k
16-1	薤白叶 <i>Allium macrostemon</i>	21.45±0.36 d	10.16±1.70 fgh	4.56±0.32 cd	2.65±0.23 j
16-2	薤白鳞茎 <i>Allium macrostemon</i>	9.50±0.59 h	3.11±0.26 k	2.84±0.55 fg	1.34±0.14 k

表5 16种野菜的微量和重金属元素含量比较

Table 5 Comparison of trace and heavy metal elements content in 16 wild vegetable species (μg·g⁻¹)

序号 No.	野菜名称 Wild vegetable name	w(Zn)	w(Fe)	w(As)	w(Pb)	w(Cd)
1	香椿 <i>Toona sinensis</i>	43.60±4.35 efg	117.03±4.48 efg	0.31±0.09 e	ND	ND
2	菊花脑 <i>Dendranthemum nankingense</i>	58.83±10.03 cde	116.60±4.65 efg	0.34±0.08 e	ND	0.51±0.14 b
3	马兰头 <i>Kalimeris indica</i>	44.17±2.94 efg	165.00±5.17 cd	ND	ND	ND
4	白凤菜 <i>Gynura divaricata</i>	32.47±6.06 gh	191.77±5.51 c	2.80±0.83 a	ND	0.50±0.03 b
5	紫背天葵 <i>Gynura bicolor</i>	32.37±1.72 gh	90.43±2.72 gh	ND	ND	0.11±0.04 cd
6	南苜蓿 <i>Medicago polymorpha</i>	44.40±6.32 efg	293.77±6.19 a	0.05±0.02 e	ND	ND
7	紫花苜蓿 <i>Medicago sativa</i>	28.13±0.35 h	97.67±2.77 fgh	ND	ND	ND
8	巢菜 <i>Vicia gigantea</i>	73.37±6.88 abc	255.00±34.89 b	ND	ND	0.04±0.03 d
9	露草 <i>Mesembryanthemum cordifolium</i>	41.13±6.63 fgh	67.37±16.41 hi	ND	ND	0.28±0.04 c
10	番杏 <i>Tetragonia tetragonoides</i>	63.00±3.73 bcd	269.23±34.90 ab	1.66±0.29 bc	ND	0.56±0.06 b
11	水芹 <i>Oenanthe javanica</i>	85.53±14.30 a	147.43±6.96 de	1.96±0.07 b	ND	0.05±0.02 d
12	冬寒菜 <i>Malva verticillata</i> var. <i>crispa</i>	64.30±6.82 bcd	101.50±4.71 fgh	1.07±0.16 cd	ND	0.18±0.09 cd
13	芝麻菜 <i>Eruca sativa</i>	54.77±2.64 def	129.70±18.38 ef	1.32±0.27 bcd	ND	0.91±0.16 a
14	灰灰菜 <i>Chenopodium album</i>	78.87±10.38 ab	77.63±1.75 hi	0.25±0.06 e	ND	0.15±0.03 cd
15	费菜 <i>Sedum aizoon</i>	30.83±2.15 gh	139.97±18.53 de	0.63±0.04 de	ND	0.10±0.04 cd
16-1	薤白叶 <i>Allium macrostemon</i>	28.57±11.29 h	116.27±2.34 efg	0.70±0.11 de	ND	ND
16-2	薤白鳞茎 <i>Allium macrostemon</i>	47.40±4.50 defg	44.50±5.84 i	ND	ND	ND

菜的 K、Ca、P、Mg、Zn、Fe 含量范围分别为 K 2.74~29.67 mg·g⁻¹ (均值 19.50 mg·g⁻¹) ; Ca 3.11~26.52 mg·g⁻¹ (均值 12.65 mg·g⁻¹) ; P 2.07~7.85 mg·g⁻¹ (均值 4.51 mg·g⁻¹) ; Mg 1.34~13.77 mg·g⁻¹ (均值 5.93 mg·g⁻¹) ; Zn 28.13~85.53 μg·g⁻¹ (均值 50.10 μg·g⁻¹) ; Fe 44.50~293.77 μg·g⁻¹ (均值 142.42 μg·g⁻¹)。其中,番杏的 K、Mg、Zn、Fe 含量,灰灰菜的 K、Ca、Zn 含量,巢菜的 P、Zn、Fe 含量、紫背天葵和露草的 K、Mg 含量、水芹的 Ca、Zn 含量和白凤菜的 Mg、Fe 含量等均相

对较高;而薤白鳞茎的 K、Ca、P、Mg、Fe 含量以及香椿的 K、Ca、Mg、Zn、Fe 含量和费菜的 K、P、Mg、Zn 含量等在野菜中不占优势。

我国蔬菜重金属 As、Pb 和 Cd 的最高限量分别为 0.5、0.3 和 0.2 mg·kg⁻¹ (以鲜质量计)^[20]。表 5 显示,所有野菜均没有检测到 Pb 元素的存在,As 和 Cd 元素则部分检出。若新鲜蔬菜以含水量 90% 计,16 种野菜的 As、Pb、Cd 含量均不超标,但白凤菜、水芹、番杏、冬寒菜、芝麻菜、薤白叶和费菜中 As

含量相对较高;芝麻菜、番杏、菊花脑和白凤菜中的Cd含量相对较高。

2.4 营养和抗营养成分综合比较

鉴于不同营养成分对不同个体的影响不同,为简化比较程序,笔者按照材料与方法中的方法,对各营养和抗营养成分等同对待,并将同类项合并,获得各野菜的营养、抗营养以及综合价值的相对值并排序。由表6可知,有些野菜的营养成分相对丰富、但抗营养含量也相对较高(如灰灰菜);有些野菜则是营养与抗营养成分均居中游,但综合排序相对靠前(如南苜蓿);有些野菜某些单项指标比较优秀(如紫花苜蓿的抗氧化物质含量高、重金属积累

少);没有一种野菜的营养物质含量丰富而抗营养物质含量低。16种野菜中,香椿的矿质营养不占优势,但其抗氧化物质含量最高、抗营养物质含量相对较低,其综合营养价值位列第1;马兰头由于抗氧化物质含量较高、重金属元素未检测到等原因,位列第2;番杏虽然有益矿质元素含量丰富,但硝态氮、草酸以及重金属等抗营养物质含量均相对较高,位列15;白凤菜虽然硝态氮和草酸累积少,但重金属累积量大、抗氧化物质与矿质营养在野菜中也不占优势,从而排在第16位;薤白鳞茎的抗氧化物质含量、矿质营养含量均最低,而抗营养成分含量又相对较高,位列17。

表6 16种野菜的营养与抗营养成分的综合比较

Table 6 Comprehensive comparison of nutritional and anti-nutritional components in 16 wild vegetable species

序号 No.	野菜名称 Wild vegetable name	抗氧化 Antioxidant	硝态氮+草酸 Nitrate nitrogen + Oxalic acid	矿质营养 Mineral nutrient	重金属 Heavy metal	营养 Nutrition	抗营养 Anti- nutrition	综合 Comprehensive
1	香椿 <i>Toona sinensis</i>	1	14	13	5	1	11	1
2	菊花脑 <i>Dendranthemum nankingense</i>	11	9	12	13	15	12	12
3	马兰头 <i>Kalimeris indica</i>	3	6	10	1	5	1	2
4	白凤菜 <i>Gynura divaricata</i>	12	2	11	17	13	15	16
5	紫背天葵 <i>Gynura bicolor</i>	10	3	6	8	7	3	5
6	南苜蓿 <i>Medicago polymorpha</i>	6	10	8	4	4	5	3
7	紫花苜蓿 <i>Medicago sativa</i>	2	12	15	2	10	4	6
8	巢菜 <i>Vicia gigantea</i>	7	8	3	6	3	6	4
9	露草 <i>Mesembryanthemum cordifolium</i>	16	15	5	11	14	13	13
10	番杏 <i>Tetragonia tetragonoides</i>	14	16	1	15	6	17	15
11	水芹 <i>Oenanthe javanica</i>	9	4	7	14	11	10	8
12	冬寒菜 <i>Malva verticillata</i> var. <i>crispa</i>	8	5	9	12	12	9	9
13	芝麻菜 <i>Eruca sativa</i>	13	7	4	16	9	14	11
14	灰灰菜 <i>Chenopodium album</i>	5	17	2	10	2	16	10
15	费菜 <i>Sedum aizoon</i>	4	11	14	9	8	8	7
16-1	薤白叶 <i>Allium macrostemon</i>	15	1	16	7	16	2	14
16-2	薤白鳞茎 <i>Allium macrostemon</i>	17	13	17	3	17	7	17

3 讨 论

3.1 维生素C、总黄酮和类胡萝卜素含量比较

维生素C、总黄酮和类胡萝卜素作为植物体内重要的次生代谢物质,不仅有利于提高植物的抗性,同时由于它们均是较强的抗氧化剂,还具有清除活性氧、增强免疫等功能^[21-22],从而在医药和保健上有着巨大的应用价值。杨淑文^[23]、欧行奇等^[24]、徐晓舒等^[25]和杨晓娟等^[26]检测的生菜等常见栽培蔬菜的维生素C含量在0.1~0.6 mg·g⁻¹范围内,付贵等^[27]研究发现,红甘蓝芽苗菜的维生素C含量高于这一

范围,为1.47 mg·g⁻¹。本研究结果表明,虽然16种野菜中,白凤菜、露草和薤白中的维生素C含量<0.1 mg·g⁻¹,但香椿、紫花苜蓿、南苜蓿、费菜、马兰头和灰灰菜等6种野菜中的维生素C含量高于常见栽培蔬菜,最高为1.07 mg·g⁻¹。番杏、芝麻菜、水芹、巢菜、紫背天葵、菊花脑和冬寒菜等中的维生素C含量也不低于常见栽培蔬菜。陈蓬凤等^[28]、莫言玲等^[29]、刘淑萍等^[30]、叶春等^[31]和Khanam等^[32]检测的近80种常见栽培蔬菜的总黄酮含量在0.02~6.80 mg·g⁻¹范围内,这一数值范围远小于本研究的0.25~36.64 mg·g⁻¹,且费菜、马兰头、香椿、紫花苜

蓿、灰灰菜、白凤菜、紫背天葵、南苜蓿和水芹 9 种野菜的总黄酮含量大于 $9 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$, 明显高于常见栽培蔬菜的总黄酮含量的最高值。此外, 16 种野菜中的类胡萝卜素含量也高于付贵等^[27]、王子昕等^[33]和郑群雄等^[34]检测的近 30 种栽培蔬菜($0.001\sim0.1 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$), 其中香椿、巢菜、冬寒菜、南苜蓿和菊花脑等 5 种野菜中的类胡萝卜素含量大于 $0.12 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$, 明显高于常见栽培蔬菜。

虽然 16 种野菜的维生素 C、总黄酮和类胡萝卜素等有效物质含量相差较大, 但与栽培蔬菜相比, 野菜仍占有明显优势。其中, 香椿、南苜蓿幼嫩茎叶中的这 3 种物质含量均明显高于栽培蔬菜, 紫花苜蓿、费菜、马兰头和灰灰菜中的维生素 C 和总黄酮含量高于栽培蔬菜; 而露草的这 3 种物质含量、薤白的维生素 C 和总黄酮含量、白凤菜的维生素 C 和类胡萝卜素含量以及番杏中的总黄酮和类胡萝卜素含量在 16 种野菜中相对较低。

3.2 硝态氮和草酸含量比较

硝态氮在人体内可被还原为亚硝态氮, 亚硝态氮不仅可与血红蛋白结合, 形成高铁血红蛋白, 使其失去携氧功能, 更严重的是亚硝态氮还可与仲胺类物质作用形成具有致癌效应的亚硝胺类物质, 从而严重危害人体健康^[35]。各个国家制定了相关的蔬菜中硝态氮含量标准, 如德国规定菠菜中硝态氮含量最高限值为 $791 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$, 荷兰规定莴笋中最高限值为 $1017 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ ^[36]。而目前, 由于农业生产中氮肥的过量施用, 许多栽培蔬菜的硝态氮含量已超过联合国粮农组织和世界卫生组织建议的安全限值($432 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$)^[35]。本研究的检测结果显示, 16 种野菜的硝态氮含量最高仅为 $409.63 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$, 低于安全阈值。Santamaria^[37]的研究指出, 叶菜类蔬菜硝态氮含量在低于 $500 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ 时, 对人体健康风险极低。虽然我国《食品安全国家标准 食品中污染物限量》(GB 2762—2022)^[20]未对新鲜蔬菜中的硝酸盐和亚硝酸盐设定明确的限量标准, 但欧盟食品科学委员会建议成人每日硝酸盐摄入量应低于 $3.7 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ bw}$, 按此计算, 本研究野菜样本的每日安全摄入量在 900 g 以上。因此, 从食品安全角度评估, 本研究涉及的野菜具有较高的食用安全性。值得注意的是, 野菜的生长环境通常远离集约化农业区, 这可能是其硝态氮积累较低的关键因素。

草酸在人体内易降低钙和微量元素的有效性, 增大患肾结石、尿路结石等疾病的风险; 同时, 食入大量草酸还可能伤害口腔和消化道^[38]。因此, 蔬菜

体内的草酸含量被认为是影响营养和安全品质的又一抗营养成分。目前国际尚未建立蔬菜草酸限量的统一标准, 但以菠菜(*Spinacia oleracea L.*)作为高草酸蔬菜的参照物具有广泛共识。现有研究表明, 菠菜中草酸含量可达 $6060 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ (以鲜质量计)^[39]。本文涉及的 16 种野菜中, 灰灰菜的草酸含量最高($3205.2 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$), 也仅达菠菜的一半, 而多种野菜如白凤菜、紫背天葵、薤白地上部和马兰头的草酸含量均低于 $10 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ 。美国国家肾脏基金会建议肾结石患者每日草酸摄入量应控制在 40~50 mg 以下, 以每日摄入 200 g 蔬菜计, 食用灰灰菜带来的草酸负荷仍低于肾结石患者的警戒阈值, 而低草酸野菜的摄入量可忽略不计。值得注意的是, 烹饪加工(如焯水)可使叶菜类草酸流失率在 30%~87%^[40], 这进一步降低了实际摄入风险。研究结果提示, 除个别品种需适量控制外, 本研究涉及的多数野菜的草酸含量处于安全范围, 适量食用不会构成健康风险。

3.3 矿质元素含量比较

蔬菜作为人体矿质营养的重要来源, 其元素组成具有显著的“双刃剑”效应, 一方面可以提供人体所需要的各种矿质营养; 另一方面会将累积在土壤中的重金属元素, 如 Hg、Cd、Pb、As 等, 向人体转移, 并进而影响骨骼、血液以及免疫、神经等多个系统, 对人体造成极大的危害^[41]。本研究通过对 16 种野菜的矿质元素分析, 揭示了野生植物资源独特的元素富集特征。与常规栽培蔬菜相比, 野菜表现出显著的元素积累优势: 大量元素($\text{K } 2.74\sim29.67 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$)、 $\text{Ca } (3.11\sim26.52 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1})$ 、 $\text{P } (2.07\sim7.85 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1})$ 、 $\text{Mg } (1.34\sim13.77 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1})$ 的平均含量均超出文献报道的栽培蔬菜最高值($\text{K } 3.20 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$; $\text{Ca } 6.80 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$; $\text{P } 1.27 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$; $\text{Mg } 5.80 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$)^[24,26,42]。微量元素方面, $\text{Zn } (28.13\sim85.53 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1})$ 和 $\text{Fe } (44.50\sim293.77 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1})$ 的富集程度更为突出, 16 种野菜中绝大多数超过栽培蔬菜最高值($\text{Zn } 22.5 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$; $\text{Fe } 67 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$)^[26,42]。这种超常积累可能与野菜在自然选择压力下形成的特殊生理机制有关, 包括更发达的根系吸收系统及高效的离子转运蛋白表达。

16 种野菜中 Pb 均未检出, Cd 元素虽在部分野菜中检出但未超标。其中, 芝麻菜、番杏、白凤菜、菊花脑表现出明显的 Cd 富集特性($0.50\sim0.91 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$, 以含水量 90% 计为 $0.05\sim0.091 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$), 该特性可能与这些物种高表达的 IRT1 转运蛋白有关, 该蛋白对 Fe^{2+} 和 Cd^{2+} 具有交叉识别能力^[43]。另外值得注意的是,

所有 16 种野菜的 As 含量虽未超过 $0.5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 的限值, 但白凤菜的干质量 As 含量达 $2.80 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ (鲜质量 $0.28 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$), 这一数值显著高于常规栽培蔬菜(平均 $0.03\text{--}0.15 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)^[44], 其污染源极可能来自畜牧业生产中广泛使用的含砷饲料添加剂——洛克沙胂(roxarsone, ROX)。这种有机砷制剂在动物体内代谢率不足 30%, 约 70% 以原形随粪便排出, 当采用畜禽粪便制作有机肥时, 其中残留的 ROX 在土壤中可经微生物作用转化为毒性更强的无机砷^[45]。而白凤菜、水芹、番杏相对于露草、巢菜、紫花苜蓿则可能具有相对较强的 As 富集能力。因此在使用有机肥的过程中, 需要重视重金属残留问题。

3.4 营养和抗营养成分综合比较

由于每一种野菜均具有其特色营养成分和特有的保健药用价值, 因此, 每一种野菜均是不可替代的。但由于维生素 C、总黄酮、类胡萝卜素等抗氧化物质以及 K、Ca、P、Mg、Zn、Fe 等矿质元素均存在于每一种野菜中, 且均对人体有益; 而过量的硝态氮、草酸以及 As、Hg、Cd 等重金属元素又均对人体有害。因此, 在评价野菜营养价值时, 除了分析其特有营养外, 还可以从这些共用的营养和抗营养成分角度评价不同种野菜的品质^[10, 12-13]。本研究结果表明, 虽然不同野菜的营养和抗营养成分相差巨大, 但相对于栽培蔬菜而言, 野菜的维生素 C、总黄酮和类胡萝卜素等抗氧化成分以及矿质元素含量均非常丰富。由此可见, 多食用野菜可促进人体清除活性氧自由基、补充人体矿物质, 从而提高人体的防病、治病能力。此外, 在未施加农药、化肥仅添加少量有机肥的土壤中种植野菜, 野菜体内的硝态氮含量极低, 重金属 As 和 Cd 虽检出但均未超标。这些结果表明, 在不添加农药化肥的前提下进行野菜栽培化种植时, 可以保持野菜的高抗氧化物质含量和高矿质营养含量, 以及低含量的硝态氮、多数重金属, 但在使用有机肥时必须要重视 As 等重金属残留问题。而在栽培时施加有机肥是否会导致抗氧化物质和矿质营养含量下降、硝态氮含量提高等还需要进一步的研究确认。

本文涉及的 16 种野菜来源于 10 个科, 除香椿为木本野菜外, 其余均是 1~2 年生或多年生草本野菜。其中, 香椿、菊花脑、马兰头、南苜蓿、巢菜、水芹、蕹菜、灰灰菜这 8 种是泰州地产野菜, 白凤菜、紫背天葵、紫花苜蓿、露草、番杏、冬寒菜、芝麻菜、费菜这 8 种为引种野菜。综合野菜来源与综合价值排序可以看出, 排名前 4 位的香椿、马兰头、南苜

蓿和巢菜均为本土野菜, 本土野菜中的蕹菜、菊花脑等排名则相对靠后。从这一点可以看出, 发展泰州野菜资源可能需要更多地从本土资源中挖掘。一方面其综合营养价值相对较高, 另一方面作为本土资源, 其在后续的生长繁殖中可能会占据更大优势。

4 结 论

综上所述, 在未施用农药化肥时, 野菜的维生素 C、总黄酮、类胡萝卜素以及矿质营养元素含量均很丰富, 硝态氮、草酸及重金属元素含量相对较低。但在施用有机肥时需要注意有机肥带来的 As 等重金属污染。16 种野菜中, 本地野菜香椿、马兰头、南苜蓿等的综合营养价值较高, 值得深入开发。但在发展灰灰菜、番杏、露草等时需要关注其硝态氮含量累积问题, 在发展白凤菜、芝麻菜和番杏时需要关注它们的重金属含量是否会超标。本研究结果为泰州地区野菜资源的开发利用提供了科学依据。

参 考 文 献

- [1] 赵永鉴, 张博飞, 张翀, 等. 海南典型稻菜轮作区和香蕉园氮磷盈余及土壤硝态氮累积[J]. 中国农业科学, 2023, 56(15): 2954-2965.
- [2] TONGPRUNG S, WIBULOUTAI J, DECHAKHAMPHU A, et al. Health risk assessment associated with consumption of heavy metal-contaminated vegetables: A case study in the southern area of Northeast Thailand[J]. Environmental Challenges, 2024, 14: 100845.
- [3] 曹爱兵, 姚瑶, 陈长军, 等. 我国蔬菜农药的登记、残留现状及安全使用[J]. 江苏农业科学, 2023, 51(22): 8-14.
- [4] JU Y, ZHUO J X, LIU B, et al. Eating from the wild: Diversity of wild edible plants used by tibetans in shangri-la region, Yunnan, China[J]. Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine, 2013, 9: 28.
- [5] HARISHA R P, SIDDAPPA SETTY R, RAVIKANTH G. Wild food plants: History, use, and impacts of globalization[M]. Wild Food Plants for Zero Hunger and Resilient Agriculture, 2023.
- [6] KANG Y X, LUCZAJ L, KANG J, et al. Wild food plants used by the tibetans of gongba valley (Zhouqu county, Gansu, China)[J]. Journal of Ethnobiology Ethnomedicine, 2014, 10: 20.
- [7] KANG J, KANG Y X, JI X L, et al. Wild food plants and fungi used in the mycophilous Tibetan community of Zhagana (Tewo county, Gansu, China)[J]. Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine, 2016, 12(1): 21.
- [8] 辛俊, 许世蛟, 汪洋, 等. 江苏省农田生态系统中分布的野生蔬菜资源及开发利用建议[J]. 江苏农业科学, 2008(6): 285-286.
- [9] ZOU X B, HUANG F Q, HAO L M, et al. The socio-economic importance of wild vegetable resources and their conservation: A case study from China[J]. Kew Bulletin, 2010, 65: 577-582.
- [10] 翁德宝, 黄雪方, 杨基楼. 四种南京地产栽培野菜蛋白质营养

- 价值的评价研究[J].自然资源学报,2001,16(3):288-292.
- [11] WONG J Y, MATANJUN P, OOI Y B H, et al. Evaluation of antioxidant activities in relation to total phenolics and flavonoids content of selected malaysian wild edible plants by multivariate analysis[J]. International Journal of Food Properties, 2014, 17(8):1763-1778.
- [12] 包艳玲,高春燕,卢跃红.四种野生蔬菜营养成分分析[J].食品工业科技,2021,42(7):337-341.
- [13] 李瑶晨,范紫佩,杨静,等.野生蔬菜功能性成分及其生物活性研究进展[J].浙江农林大学学报,2022,39(4):913-922.
- [14] 张哲普,孙建国.野菜的食用及药用[M].北京:金盾出版社,1997.
- [15] 尉芹,王冬梅,马希汉,等.杜仲叶总黄酮含量测定方法研究[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2001(5):119-123.
- [16] 方国桢,陈景. Fe^{2+} -联吡啶分光光度法测定维生素 C[J].食品与发酵工业,1992(4):54-57.
- [17] 杨晶晶,曲媛,崔秀明.三七地上部分中叶绿素和类胡萝卜素的含量测定[J].特产研究,2014,36(2):63-66.
- [18] 金念情,杨彬,韦小丽,等.不同种源花榈木苗期生长及生理特性比较[J].广西植物,2021,41(12):2051-2060.
- [19] 丁倩,罗世琼,杨占南,等.矿质元素缺失对鱼腥草幼苗生理特征及次生代谢组分的影响[J].生态学杂志,2022,41(8):1594-1601.
- [20] 中华人民共和国国家卫生健康委员会,国家市场监督管理总局.食品安全国家标准 食品中污染物限量:GB 2762—2022[S].北京:中国标准出版社,2022.
- [21] MACHADO J, FERNANDES A P G, BOKOR B, et al. The effect of silicon on the antioxidant system of tomato seedlings exposed to individual and combined nitrogen and water deficit[J]. Annals of Applied Biology, 2024, 184(1): 50-60.
- [22] 米璐,林玉红,廖小军,等.百合鳞茎营养素与植物化学成分研究进展[J].食品工业科技,2024,45(14):1-14.
- [23] 杨淑文.不同果蔬维生素 C 含量的比较研究[J].安徽农学通报(下半月刊),2011,17(4):34-35.
- [24] 欧行奇,任秀娟,杨国堂.甘薯茎尖与常见蔬菜的营养成分分析[J].西南农业大学学报(自然科学版),2005(5):630-633.
- [25] 徐晓舒,刘成俊,毛兴龙.遵义市 16 种常见果蔬中维生素 C 含量的检测[J].蔬菜,2012(6):49-50.
- [26] 杨晓娟,郭斐斐,赵英,等.山西省主产蔬菜和水果营养成分分析[J].卫生研究,2024,53(6):904-908.
- [27] 付贵,曹杰,朱峰志,等.芽苗菜的营养价值与功能特性以及安全性研究进展[J].食品科学,2025,46(11):394-404.
- [28] 陈蓬凤,梅新,黄师荣,等.不同品种薯尖的总酚、总黄酮含量及抗氧化活性比较[J].现代食品科技,2021,37(3):132-138.
- [29] 莫言玲,刘义华,曾静,等.茎瘤芥核心种质资源营养品质分析及评价[J].中国瓜菜,2021,34(3):52-58.
- [30] 刘淑萍,邸丁.不同种类蔬菜中黄酮类成分的含量分布[J].河北联合大学学报(自然科学版),2012,34(3):112-114.
- [31] 叶春,聂开慧.对 40 种新鲜蔬菜中总黄酮含量的测定[J].山地农业生物学报,2000(2):121-124.
- [32] KHANAM U K S, OBA S, YANASE E, et al. Phenolic acids, flavonoids and total antioxidant capacity of selected leafy vegetables[J]. Journal of Functional Foods, 2012, 4(4): 979-987.
- [33] 王子昕,林晓明.北京地区常见蔬菜中叶黄素、玉米黄素和 β -胡萝卜素的测定及其含量[J].营养学报,2010,32(3):290-294.
- [34] 郑群雄,杜美霞,徐小强,等.高效液相色谱法测定 15 种蔬菜中的 β -胡萝卜素[J].食品科学,2012,33(14):238-241.
- [35] TIAN X S, ZHENG H F, YIN Y L, et al. Optimizing nitrogen input to control health and environmental risks in Chinese vegetable production[J]. Journal of Cleaner Production, 2025, 519: 145956.
- [36] 王朝辉,宗志强,李生秀,等.蔬菜的硝态氮累积及菜地土壤的硝态氮残留[J].环境科学,2002,23(3):79-83.
- [37] SANTAMARIA P. Nitrate in vegetables: Toxicity, content, intake and EC regulation[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2006, 86(1): 10-17.
- [38] SALGADO N, SILVA M A, FIGUEIRA M E, et al. Oxalate in foods: Extraction conditions, analytical methods, occurrence, and health implications[J]. Foods, 2023, 12(17):3201.
- [39] 许晓敏,刘中笑,张延国,等.蔬菜中主要抗营养因子分析[J].农产品质量与安全,2022(4):18-22.
- [40] ZIMMERMANN D J, HESSE A, VON UNRUH G E. Influence of a high-oxalate diet on intestinal oxalate absorption[J]. World Journal of Urology, 2005, 23(5):324-329.
- [41] ALEGBE P J, APPIAH-BREMONG M, AWUAH E. Heavy metal contamination in vegetables and associated health risks[J]. Scientific African, 2025, 27:e2603.
- [42] LEE H W, BI X Y, HENRY C J. Comparative evaluation of minerals content of common green leafy vegetables consumed by the Asian populations in Singapore[J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2024, 125:105787.
- [43] EIDE D, BRODERIUS M, FETT J, et al. A novel iron-regulated metal transporter from plants identified by functional expression in yeast[J]. Proceedings of National Academy of Sciences of the United States of America, 1996, 93(11):5624-5628.
- [44] BALI A S, SIDHU G P S. Arsenic acquisition, toxicity and tolerance in plants: From physiology to remediation: A review[J]. Chemosphere, 2021, 283:131050.
- [45] GARBARINO J R, BEDNAR A J, RUTHERFORD D W, et al. Environmental fate of roxarsone in poultry litter. I. Degradation of roxarsone during composting[J]. Environmental Science and Technology, 2003, 37(8):1509-1514.