

# 品种和采收期对藜麦芽苗菜总黄酮、总多酚及其抗氧化活性的影响

李文琦<sup>1</sup> 段雪妍<sup>2</sup> 胡一晨<sup>1</sup> 黄朝晖<sup>3,4</sup> 秦培友<sup>2</sup>

(<sup>1</sup>成都大学食品与生物工程学院, 610106, 四川成都; <sup>2</sup>北京市农林科学院农产品加工与食品营养研究所, 100097, 北京; <sup>3</sup>海南热带海洋学院, 572000, 海南三亚; <sup>4</sup>海南热带海洋学院崖州湾创新研究院, 572000, 海南三亚)

**摘要** 以河北和新疆的19份藜麦品种为试验材料,分析21~49 d藜麦芽苗菜的总多酚和总黄酮含量,采用DPPH (1,1-二苯基-2-三硝基苯肼)和ABTS (2,2'-联氮-双-3-乙基苯并噻唑啉-6-磺酸)法评估其抗氧化活性。结果表明,随着生长期的变化,藜麦芽苗菜株高和鲜重显著增加;总多酚和总黄酮含量整体呈下降趋势;抗氧化活性也相应变化,且与总多酚和总黄酮含量呈显著正相关。结合聚类分析结果可知,来源于河北省的Y1~Y10号藜麦生长至35 d时,总多酚(10.38~12.71 mg GAE/g DW)和总黄酮(21.92~26.28 mg RE/g DW)含量较高,且具备一定的抗氧化活性(DPPH清除活性:11.65~15.64 mg TE/g DW;ABTS清除活性:24.56~33.98 mg TE/g DW),生物产量较高(株高:27.97~33.93 cm;鲜重:8.81~29.17 g/株),且品质较为鲜嫩。

**关键词** 藜麦; 芽苗菜; 总多酚; 总黄酮; 抗氧化活性

藜麦 (*Chenopodium quinoa* Willd.) 属苋科藜属,为一年生双子叶植物,是一种假谷物。其原产于安第斯山脉地区,拥有7000多年的种植历史,曾是古印加民族的主要粮食作物之一。2008年,我国开始规模化种植藜麦,目前主要分布于内蒙古、河北、甘肃、山西、青海、云南、新疆和四川等省区<sup>[1-2]</sup>。藜麦营养价值丰富,富含蛋白质、淀粉、脂肪、矿物质及维生素等<sup>[3]</sup>。当前,国内外对藜麦的加工利用研究不仅聚焦于籽粒,还涉及籽粒麸皮<sup>[4-5]</sup>、发酵籽粒<sup>[6-7]</sup>以及所含淀粉<sup>[8]</sup>、酚酸<sup>[9]</sup>、多糖<sup>[10-14]</sup>等成分的研究,此外还包括藜麦芽、苗以及根、茎、叶等不同部位营养差异的研究<sup>[15-18]</sup>。

藜麦芽苗富含多种营养物质及生物活性成分,是蛋白质、氨基酸、矿物质和omega-3脂肪酸的优质摄入来源,具备抗菌、抗癌、抗糖尿病、抗氧化和抗肥胖等多种特性<sup>[19]</sup>。相较于未发芽的藜麦,藜麦芽展现出更强的抗氧化性能<sup>[20]</sup>。研究<sup>[21]</sup>表明,以藜麦芽为原料制成的酸奶,其抗氧化能力高于未发芽藜麦籽粒制成的酸奶,这归因于发芽过程提升了藜麦中多酚和类黄酮含量,进而提高了藜麦酸奶的整体品质。Lim等<sup>[18]</sup>研究发现,藜麦籽粒与茎叶在总酚、黄酮含量及抗氧化活性方面存在差异,茎的总酚及黄酮含量略低于种子,而叶的总酚及黄酮含

量则显著高于种子,且茎叶的自由基清除活性显著强于种子。藜麦芽苗菜中的主要酚酸成分包括阿魏酸、异阿魏酸和异槲皮苷<sup>[22]</sup>。此外,藜麦品种、生长环境及提取方法等因素均会影响总多酚含量和酚酸种类<sup>[23]</sup>。张琴萍<sup>[24]</sup>对云南红藜、云南白藜和蒙藜1号3个不同品种藜麦苗在17~33 d内的营养及功能活性成分变化趋势进行了研究,结果显示总多酚含量与DPPH (1,1-二苯基-2-三硝基苯肼)和ABTS (2,2'-联氮-双-3-乙基苯并噻唑啉-6-磺酸)自由基清除活性呈正相关,总黄酮含量与ABTS清除活性呈显著正相关,且多酚及黄酮含量因品种和采收时期的不同而存在较大差异。

海南省四面环海,属热带季风气候,长夏无冬,地理环境与我国其他地区存在显著差异。当前,全球气候变暖导致极端天气频发,降水模式不稳定,可能引发作物减产。而藜麦对干旱和盐度等非生物胁迫具有高度耐受性,能在不利土壤和气候条件下生长。发展藜麦芽苗菜这一新型蔬菜产业,既有助于缓解海南省冬季瓜菜产业的市场竞争压力,也能积极应对未来潜在的环境变化。目前,针对我国海南地区藜麦芽苗菜功能活性成分的研究较少。因此,本研究选取来自河北和新疆的19份藜麦品种,对其不同生长时期的芽苗菜中总黄酮和总多酚含

作者简介:李文琦,主要从事藜麦品质评价研究,E-mail:lwq8698@163.com

秦培友为通信作者,主要从事营养健康谷物品质评价与高值化利用研究,E-mail:qinpeiyou@baafs.net.cn;黄朝晖为共同通信作者,主要从事食品营养与功能研究,E-mail:554566782@qq.com

基金项目:海南省重点研发计划项目(ZDYF2021XDNY294)

收稿日期:2024-12-02;修回日期:2025-01-17;网络出版日期:2025-03-27

量进行测定分析，并评估其抗氧化活性，旨在为藜麦芽苗菜在海南的推广种植及规模化生产提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

19 份试验材料名称及来源如表 1 所示。Y1~Y10 来源于河北，Y11~Y19 来源于新疆。2023 年 1 月 9 日播种于海南省乐东县尖峰镇老罗村张家口市农业科学院南繁实验基地（18°45'5.38" N，109°10'10.22" E，海拔 134 m）。基地土壤为热带雨林地区典型土壤泥燥土（典型燥红土），表土层多为浅黄色或灰黄色，以砂质壤土为主。

表 1 试验材料名称及来源

Table 1 The names and sources of experimental materials

编号 Number	品种名称 Variety name	材料来源 Material source
Y1	SX4 特 76	张家口市农业科学院
Y2	SX12 石家庄 (18)	张家口市农业科学院
Y3	QS 石家庄 (19)	张家口市农业科学院
Y4	石家庄 (11)	张家口市农业科学院
Y5	石家庄 (3)	张家口市农业科学院
Y6	xsg70-100-3	张家口市农业科学院
Y7	LMSX4	张家口市农业科学院
Y8	2022 南繁种	张家口市农业科学院
Y9	YY-11-192-3	张家口市农业科学院
Y10	XJ-SY-3	张家口市农业科学院
Y11	XJ-SY-5	伊犁哈萨克自治州农业科学研究所
Y12	XJ-SY-6	伊犁哈萨克自治州农业科学研究所
Y13	XJ-SY-10	伊犁哈萨克自治州农业科学研究所
Y14	XJ-SY-13	伊犁哈萨克自治州农业科学研究所
Y15	XJ-SY-22	伊犁哈萨克自治州农业科学研究所
Y16	XJ-SY-26	伊犁哈萨克自治州农业科学研究所
Y17	XJ-SY-29	伊犁哈萨克自治州农业科学研究所
Y18	XJ-SY-35	伊犁哈萨克自治州农业科学研究所
Y19	XJ-SY-41	伊犁哈萨克自治州农业科学研究所

### 1.2 试验方法

试验采用田间种植，小区面积为 30 m<sup>2</sup>。翻地、整地后播种，铺设滴灌带，播种株行距 20 cm×25 cm，人工穴播，于 12 片真叶时施三元复合肥 15 g/m<sup>2</sup>（氮：磷：钾=15：5：15），无底肥。

### 1.3 测定项目与方法

1.3.1 农艺性状 随机取藜麦芽苗 3 株，测量株高（地面上的茎秆高度）和单株鲜重，取均值，每次取样间隔 6 d，即播种后 21~49 d，从株高达到 13 cm 且具有 10 片真叶开始，按折合干重 20 g 取样。鼓风干燥至恒重，研磨成粉过 60 目筛，置于 -18 °C 冰箱备用。

1.3.2 水分含量 参考《食品安全国家标准 食品中水分的测定》（GB 5009.3-2016）<sup>[25]</sup>中的直接干燥法测定水分含量。

1.3.3 功能成分 参照 Zhang 等<sup>[22]</sup>的方法提取功能活性成分；参照 Qin 等<sup>[26]</sup>的方法测定总多酚含量，结果以每克样品中没食子酸当量（gallic acid equivalent, GAE）的毫克数表示（mg GAE/g DW）；参照 Sarker 等<sup>[27]</sup>的方法测定总黄酮含量，结果以每克样品中芦丁当量（rutin equivalent, RE）的毫克数表示（mg RE/g DW）。

1.3.4 抗氧化活性 参照 Yao 等<sup>[28]</sup>的方法测定 DPPH 自由基清除活性，结果以每克样品中水溶性 V<sub>E</sub> 当量（trolox equivalent, TE）的毫克数表示（mg TE/g DW）；参照张琴萍<sup>[24]</sup>的方法测定 ABTS 自由基清除活性，结果以每克样品中水溶性 V<sub>E</sub> 当量的毫克数表示（mg TE/g DW）。

### 1.4 数据处理

试验设 3 次重复。采用 Excel 2016、SPSS 26.0 和 Origin 2024 软件进行统计分析和绘图。

## 2 结果与分析

### 2.1 藜麦芽苗菜株高和鲜重

如表 2 所示，不同时期、不同品种之间藜麦芽苗菜的株高和鲜重有一定差异。随着采收期的变化，株高和鲜重均呈显著上升趋势。株高从 21 d 的 15.57 cm 增长至 49 d 的 60.60 cm，鲜重从 21 d 的 9.27 g/株增至 49 d 的 47.74 g/株。且在 35~42 d 生长最快（株高增加 60.05%，鲜重增加 86.69%），此时，茎秆呈现出木质化，不宜再作为菜用。

### 2.2 藜麦芽苗菜总多酚和总黄酮含量

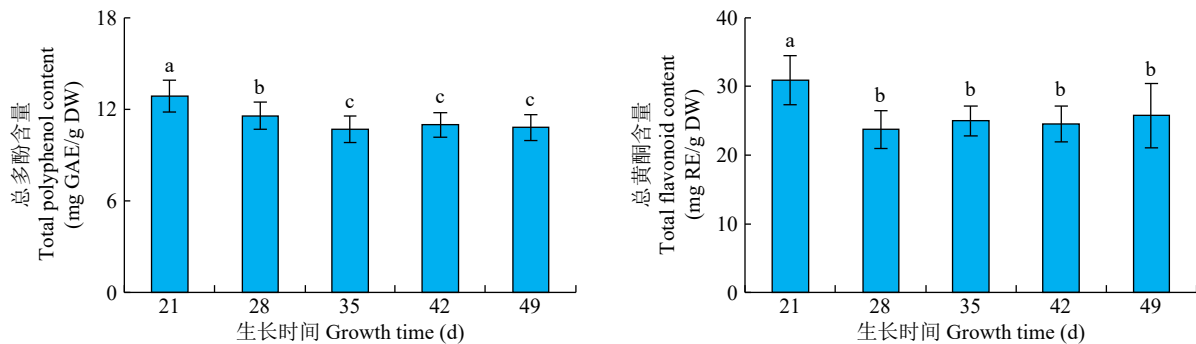
如图 1 所示，21 d 时藜麦芽苗菜总多酚含量最高，平均为 12.88 mg GAE/g DW，随采收期变化整体呈下降趋势，在 21~35 d 生长期显著下降，35 d 后趋于稳定。如表 3 所示，不同采收期藜麦芽苗菜总多酚含量范围在 9.03~15.00 mg GAE/g DW，除 Y5 和 Y16 外，所有品种的总多酚含量在 21 d 时均较大。其中，Y5 在 35 d 总多酚含量最高（12.19 mg GAE/g DW），Y16 在 28 d 总多酚含量最高（12.80 mg GAE/g DW）。

藜麦芽苗菜总黄酮含量从 21 d 的 30.89 mg RE/g DW 下降至 28 d 的 23.70 mg RE/g DW，降幅为 23.28%，但随后在 28~49 d 趋于稳定，这与总多酚含量的变化趋势较为一致。如表 4 所示，不同采收期藜麦芽

表 2 藜麦芽苗菜生长过程中株高和鲜重变化  
Table 2 Changes of plant height and fresh weight of quinoa sprouts during the growth

编号 Number	21 d		28 d		35 d		42 d		49 d	
	株高 Plant height (cm)	鲜重 (g/株) Fresh weight (g/plant)	株高 Plant height (cm)	鲜重 (g/株) Fresh weight (g/plant)	株高 Plant height (cm)	鲜重 (g/株) Fresh weight (g/plant)	株高 Plant height (cm)	鲜重 (g/株) Fresh weight (g/plant)	株高 Plant height (cm)	鲜重 (g/株) Fresh weight (g/plant)
Y1	16.40±0.07d	9.97±0.32d	20.86±0.49d	12.03±0.56d	31.65±3.25c	18.89±2.25c	49.17±4.32b	60.00±6.36b	57.07±1.12a	66.39±0.96a
Y2	15.98±0.64e	9.31±0.94c	20.94±0.58d	11.52±0.16c	31.00±0.87c	19.39±2.52c	48.40±3.75b	37.28±10.72b	51.87±1.53a	49.11±4.39a
Y3	15.85±0.44e	9.82±0.78d	21.56±1.05d	13.12±0.42d	28.60±1.82c	29.17±1.54c	45.80±2.52b	58.97±9.24b	55.25±3.12a	67.08±0.27a
Y4	15.82±0.31d	10.01±0.71c	19.33±0.63d	13.69±0.14c	31.15±4.72c	24.65±5.10b	46.00±0.10b	58.87±10.18a	60.90±4.97a	57.50±5.96a
Y5	14.98±0.58e	9.84±0.24d	21.05±0.31d	11.89±0.38d	30.23±1.15c	23.11±1.61c	48.70±3.12b	38.93±3.43b	63.42±0.61a	46.89±4.42a
Y6	14.50±0.76d	8.87±0.71d	20.91±0.54c	10.71±0.49cd	27.97±3.06b	19.39±2.77bc	38.37±3.66a	27.55±1.65b	41.77±0.58a	54.11±10.74a
Y7	15.92±0.35e	9.31±0.45d	20.96±0.81d	10.17±0.57d	29.77±2.07c	26.10±0.55c	56.87±4.44b	39.33±3.14b	63.48±2.97a	49.31±3.52a
Y8	15.98±0.60e	9.01±0.25c	22.03±1.53d	11.97±0.31c	33.93±2.21c	26.48±1.14b	63.07±1.79b	61.29±6.27a	66.93±0.84a	65.92±6.09a
Y9	15.91±0.37d	9.34±0.53c	21.28±1.97d	11.23±0.60c	33.33±2.93c	25.01±1.98b	46.77±7.46b	46.97±10.55a	57.33±1.91a	49.55±4.76a
Y10	14.79±0.40e	9.16±0.45c	20.96±1.31d	7.84±1.65c	31.30±0.82c	8.81±1.10c	56.97±2.87b	44.29±10.19b	66.92±1.99a	54.88±2.72a
Y11	15.73±0.10e	9.47±0.40c	23.96±3.08d	11.55±0.33c	32.50±3.46c	9.44±0.74c	60.03±3.56b	24.48±8.31b	72.12±1.60a	37.94±1.58a
Y12	16.31±0.16e	9.25±0.82d	22.18±1.02d	12.40±0.83cd	35.83±1.15c	13.33±2.32c	56.90±2.21b	21.90±2.51b	70.25±1.05a	37.46±1.53a
Y13	15.09±0.12e	9.40±0.86c	21.41±1.23d	12.76±0.37c	29.13±3.00c	25.19±9.61b	56.50±1.57b	22.81±1.63b	76.25±0.82a	37.95±0.91a
Y14	15.43±0.16e	9.50±0.15d	20.92±0.71d	11.80±0.49cd	27.50±2.65c	15.08±5.42c	42.43±3.00b	21.69±2.28b	63.45±2.52a	39.19±1.01a
Y15	15.78±0.73e	9.05±0.24b	20.76±0.63d	10.22±0.95b	23.43±0.75c	7.81±2.68b	37.73±0.78b	8.62±0.37b	52.60±1.74a	37.06±1.97a
Y16	15.40±0.23e	9.41±0.49c	22.15±2.52d	12.84±0.13c	32.67±1.53c	15.72±0.68bc	40.07±6.82b	24.79±12.24b	57.05±2.34a	40.24±4.19a
Y17	15.05±0.26d	8.76±0.46c	20.75±3.21d	10.64±1.00c	30.02±4.46c	19.30±2.85c	41.67±6.31b	13.42±5.79b	49.63±0.73a	37.77±1.50a
Y18	14.98±0.60e	8.09±0.73d	19.74±0.83d	10.60±0.26cd	30.60±1.87c	14.23±2.42c	40.37±0.96b	19.30±0.99b	57.12±0.42a	41.08±3.99a
Y19	15.96±0.43e	8.62±0.73c	19.99±1.48d	10.97±0.27bc	33.87±1.76c	14.42±1.60b	59.50±1.40b	33.20±5.27a	67.95±1.98a	37.64±1.59a
平均值 Mean	15.57±0.54e	9.27±0.48d	21.15±1.01d	11.47±1.33d	30.76±2.80c	18.71±6.47c	49.23±8.13b	34.93±16.51b	60.60±8.57a	47.74±10.63a

不同小写字母表示存在显著差异 ( $P < 0.05$ )，下同。  
Different lowercase letters indicate significant difference ( $P < 0.05$ ), the same below.



不同小写字母表示存在显著差异 ( $P < 0.05$ )，下同。  
Different lowercase letters indicate significant difference ( $P < 0.05$ ), the same below.

图 1 藜麦芽苗菜生长过程中总多酚和总黄酮含量变化  
Fig.1 Changes of total polyphenol and total flavonoid contents of quinoa sprouts during the growth

表 3 不同采收期藜麦芽苗菜的总多酚含量  
Table 3 Total polyphenol content of quinoa sprouts in different harvesting periods mg GAE/g 干重 mg GAE/g DW

编号 Number	21 d	28 d	35 d	42 d	49 d
Y1	12.99±0.37a	12.01±0.18b	11.08±0.39c	10.75±0.13c	11.61±0.23b
Y2	15.00±0.16a	11.36±0.25b	10.80±0.13c	11.63±0.27b	10.53±0.24c
Y3	12.71±0.04a	10.29±0.17d	11.19±0.34c	11.84±0.06b	11.57±0.08b
Y4	10.59±0.35ab	10.91±0.09a	10.38±0.02b	9.81±0.20c	9.28±0.12d
Y5	11.75±0.24b	11.83±0.10b	12.19±0.06a	10.92±0.19c	10.93±0.02c
Y6	13.05±0.08a	10.99±0.38c	12.71±0.10ab	12.59±0.15b	10.50±0.02d
Y7	12.68±0.27a	12.18±0.37b	10.49±0.03c	10.74±0.12c	10.72±0.37c
Y8	13.98±0.02a	13.26±0.19b	11.19±0.23c	10.66±0.12d	9.87±0.22e
Y9	13.35±0.12a	9.98±0.19d	11.23±0.26c	11.04±0.25c	11.98±0.15b

续表 3 Table 3 (continued)

编号 Number	21 d	28 d	35 d	42 d	49 d
Y10	14.58±0.05a	12.75±0.14b	10.53±0.10e	11.85±0.27d	12.33±0.04c
Y11	11.53±0.21ab	11.73±0.17a	10.39±0.22c	10.47±0.21c	11.29±0.23b
Y12	12.48±0.18a	10.66±0.14c	9.54±0.15d	11.26±0.26b	10.66±0.26c
Y13	13.88±0.11a	10.55±0.11c	9.35±0.08d	10.99±0.38b	10.48±0.15c
Y14	12.68±0.17a	11.72±0.15b	9.56±0.16e	11.26±0.32c	10.08±0.08d
Y15	12.56±0.28a	12.52±0.18a	10.47±0.28b	12.09±0.29a	10.53±0.25b
Y16	12.29±0.15b	12.80±0.12a	9.53±0.14d	9.64±0.12d	10.89±0.11c
Y17	12.70±0.46a	11.31±0.10b	10.27±0.21c	10.89±0.18b	11.47±0.46b
Y18	12.54±0.12a	11.56±0.30b	11.03±0.08c	9.83±0.21d	11.42±0.06b
Y19	13.35±0.41a	11.25±0.43b	10.94±0.01b	9.99±0.17c	9.03±0.15d

表 4 不同采收期藜麦芽苗菜的总黄酮含量

Table 4 Total flavonoid content of quinoa sprouts in different harvesting periods mg RE/g 干重 mg RE/g DW

编号 Number	21 d	28 d	35 d	42 d	49 d
Y1	29.76±0.04a	24.37±0.44c	22.07±0.44e	23.40±0.61d	26.38±0.62b
Y2	29.18±0.45b	28.20±0.50b	25.31±0.59c	23.43±0.34d	30.22±0.67a
Y3	36.03±1.15a	26.55±0.50c	24.48±0.63d	25.85±0.65cd	33.01±0.74b
Y4	31.65±0.51a	28.10±1.00b	22.91±0.48d	22.28±0.61d	26.57±0.43c
Y5	35.60±0.09a	23.11±0.51e	24.23±0.13d	25.78±0.25c	29.15±1.13b
Y6	32.59±0.88a	23.64±0.21c	26.28±0.34b	25.44±0.39b	25.82±0.96b
Y7	29.34±1.49a	22.49±0.33c	26.20±0.82b	19.99±0.39d	27.87±0.87a
Y8	33.71±0.59a	23.97±1.00b	22.55±0.33c	22.36±0.60c	24.53±0.37b
Y9	25.72±0.14b	22.29±0.22d	23.42±0.12c	27.21±0.13a	26.87±0.78a
Y10	32.48±0.20b	25.49±0.10c	21.92±0.48d	25.61±0.66c	35.40±0.71a
Y11	35.87±0.95a	24.46±0.89c	24.14±0.90c	21.72±0.13d	28.19±0.31b
Y12	30.69±1.20a	21.58±0.06d	28.32±0.52b	26.72±0.87c	18.67±0.70e
Y13	28.33±0.31a	27.88±0.31a	28.26±0.70a	23.89±0.23b	17.23±0.55c
Y14	31.65±0.45a	19.95±0.61d	24.29±0.53c	28.27±0.18b	20.10±0.40d
Y15	29.83±0.82a	20.13±0.25c	29.11±0.90a	28.85±0.75a	23.37±0.46b
Y16	34.94±0.24a	25.33±0.19b	23.88±0.40c	20.62±0.19e	22.64±0.29d
Y17	24.84±0.94c	23.20±0.25d	28.22±0.48a	25.51±0.69bc	26.60±0.46b
Y18	30.33±0.45a	20.29±0.41e	24.74±0.49d	26.83±0.43b	25.94±0.48c
Y19	24.29±0.08a	19.36±0.29d	23.99±0.62a	22.16±0.34b	20.37±0.26c

苗菜总黄酮含量范围在 17.23~36.03 mg RE/g DW。除 Y2、Y9、Y10 和 Y17 外，所有的藜麦芽苗菜品种总黄酮含量均在 21 d 时较大。其中，Y2 (30.22 mg RE/g DW) 和 Y10 (35.40 mg RE/g DW) 在 49 d 时总黄酮含量最高，Y9 在 42 d 时最高 (27.21 mg RE/g DW)，Y17 在 35 d 时最高

(28.22 mg RE/g DW)。

### 2.3 藜麦芽苗菜抗氧化活性

如图 2 所示，21 d 采收的藜麦芽苗菜 DPPH 清除活性为 16.34 mg TE/g DW，显著高于其他组，28~49 d 期间差异不显著，与总多酚含量变化趋势一致。如表 5 所示，藜麦芽苗菜 DPPH 清除活

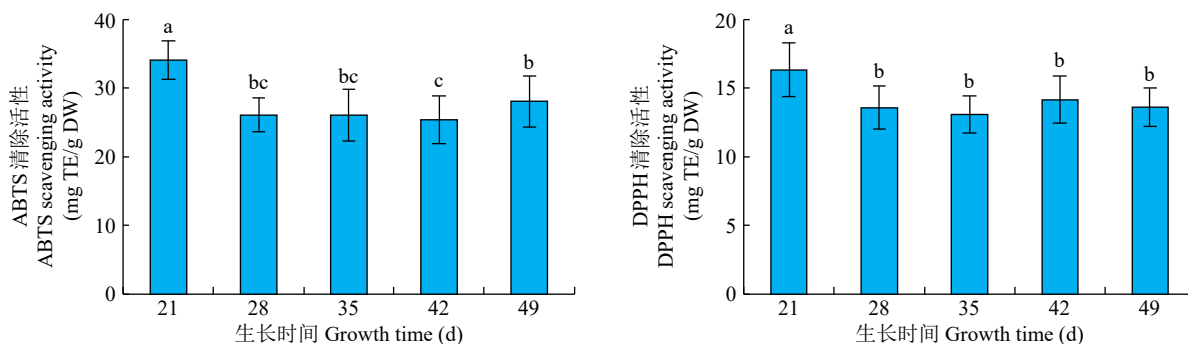


图 2 藜麦芽苗菜生长过程中 DPPH 和 ABTS 清除活性变化

Fig.2 Changes of DPPH and ABTS scavenging activity of quinoa sprouts during the growth

性范围在 10.61~21.21 mg TE/g DW, 其中, Y3 (15.90 mg TE/g DW)、Y5 (16.16 mg TE/g DW)、Y6 (17.55 mg TE/g DW)、Y12 (14.83 mg TE/g DW) 和 Y15 (16.53 mg TE/g DW) 在 42 d 时最高, Y17 在 49 d 时最高 (17.35 mg TE/g DW), 其余品种均在 21 d 时有较好的活性。

表 5 不同采收期藜麦芽苗菜的 DPPH 清除活性

Table 5 DPPH scavenging activity of quinoa sprouts at different harvesting periods mg TE/g 干重 mg TE/g DW

编号 Number	21 d	28 d	35 d	42 d	49 d
Y1	16.46±0.26a	13.61±0.11c	12.91±0.17d	14.86±0.16b	13.31±0.62cd
Y2	18.90±0.26a	13.56±0.17c	12.46±0.30d	14.88±0.22b	12.65±0.25d
Y3	15.34±0.27b	11.09±0.14d	14.21±0.51c	15.90±0.28a	14.24±0.19c
Y4	14.16±0.02a	13.15±0.17c	12.77±0.16d	12.79±0.15d	13.71±0.19b
Y5	14.67±0.07b	13.39±0.31c	15.64±0.55a	16.16±0.29a	12.94±0.09c
Y6	15.66±0.09b	14.15±0.27c	14.62±0.55c	17.55±0.18a	11.39±0.38d
Y7	14.83±0.08a	14.59±0.20a	11.65±0.28c	13.55±0.50b	14.74±0.36a
Y8	19.55±0.11a	17.16±0.09b	13.28±0.22d	14.99±0.49c	13.03±0.03d
Y9	16.58±0.04a	12.02±0.27d	13.79±0.17c	14.77±0.31b	14.68±0.17b
Y10	21.21±0.31a	16.52±0.28b	12.10±0.30d	13.42±0.24c	10.61±0.12e
Y11	15.44±0.35a	14.72±0.21b	11.17±0.05c	11.39±0.25c	14.92±0.37b
Y12	14.32±0.14a	12.02±0.26d	12.72±0.29c	14.83±0.62a	13.50±0.15b
Y13	17.92±0.10a	11.68±0.26e	12.33±0.32d	13.37±0.34c	14.09±0.03b
Y14	15.64±0.14a	13.20±0.04c	11.34±0.15d	14.83±0.45b	12.92±0.10c
Y15	14.75±0.21b	12.58±0.20d	15.29±0.21b	16.53±0.59a	13.66±0.24c
Y16	14.27±0.09a	14.14±0.24ab	11.79±0.31c	11.48±0.34c	13.75±0.02b
Y17	16.46±0.18b	14.24±0.42c	12.21±0.61d	12.50±0.05d	17.35±0.24a
Y18	16.22±0.32a	14.28±0.25b	12.91±0.48c	12.74±0.27c	13.12±0.10c
Y19	18.05±0.38a	12.00±0.26e	15.04±0.68b	12.71±0.11d	13.90±0.21c

采收期内, 藜麦芽苗菜的 ABTS 清除活性呈下降趋势, 由 21 d 的 34.13 mg TE/g DW 降至 42 d 的 25.41 mg TE/g DW, 降幅为 25.55%。在 49 d 时,

ABTS 清除活性显著升高至 28.11 mg TE/g DW。不同采收期藜麦芽苗菜的 ABTS 清除活性如表 6 所示, 范围在 20.11~39.96 mg TE/g DW。除 Y15 在

表 6 不同采收期藜麦芽苗菜的 ABTS 清除活性

Table 6 ABTS scavenging activity of quinoa sprouts at different harvesting stages mg TE/g 干重 mg TE/g DW

编号 Number	21 d	28 d	35 d	42 d	49 d
Y1	39.66±0.96a	25.69±1.55c	33.52±0.20b	24.78±1.01c	33.62±1.72b
Y2	39.96±0.79a	25.57±0.29cd	24.56±1.25d	30.14±0.22b	26.71±0.19c
Y3	34.48±0.32a	22.13±0.68e	26.01±0.94d	28.14±1.17c	30.00±0.24b
Y4	31.78±0.95a	28.57±0.74b	28.65±0.19b	21.07±0.32d	22.99±0.49c
Y5	32.11±1.04a	25.51±2.36b	25.30±0.58b	25.38±0.55b	28.23±2.17b
Y6	31.90±2.24ab	28.43±0.35c	33.98±0.45a	31.48±1.45b	28.56±0.39c
Y7	33.21±1.17a	26.97±1.05c	29.83±0.38b	23.17±0.70d	29.20±0.76b
Y8	33.07±1.15a	27.78±0.70c	30.34±0.48b	28.58±0.77c	23.40±0.68d
Y9	33.19±2.62a	22.29±0.50c	28.02±0.51b	27.63±0.67b	29.12±0.56b
Y10	35.07±0.49a	32.23±0.54b	25.20±0.68c	24.00±0.50d	34.09±0.58a
Y11	30.89±1.16a	26.71±1.45b	22.01±1.06c	20.51±0.27c	30.84±0.58a
Y12	31.50±0.94a	21.75±0.69d	23.09±0.12c	28.11±0.58b	28.80±0.53b
Y13	36.65±0.94a	25.72±0.83c	23.20±1.23d	21.80±0.20d	27.54±0.75b
Y14	36.29±1.20a	25.88±0.90b	23.17±0.78c	24.26±0.37bc	24.78±1.13bc
Y15	29.30±0.07b	25.43±0.40c	23.87±1.38d	31.86±0.10a	30.20±0.91b
Y16	33.09±1.29a	28.34±0.69b	20.25±1.52d	22.05±0.93cd	23.61±1.00c
Y17	34.56±1.85a	26.03±0.43c	23.73±0.30d	23.69±0.64d	30.92±0.31b
Y18	35.83±1.36a	25.21±1.34c	24.05±0.08cd	22.76±0.48d	31.36±1.19b
Y19	35.97±1.60a	26.09±1.48b	26.55±0.67b	23.44±0.63c	20.11±1.66d

42 d 时最高 (31.86 mg TE/g DW) 外, 其余品种均在 21 d 时有较好的活性。

### 2.4 藜麦芽苗菜总黄酮、总多酚含量和体外抗氧化活性的相关性分析

对不同采收期藜麦芽苗菜的总多酚、总黄酮和体外抗氧化活性进行相关性分析 (表 7), 藜麦芽苗

菜总多酚含量与总黄酮含量、DPPH 和 ABTS 清除活性间呈极显著正相关, 其相关指数分别为 0.393、0.738 和 0.750; 总黄酮含量与 DPPH 和 ABTS 清除活性间呈极显著正相关, 相关指数分别为 0.330 和 0.509; DPPH 与 ABTS 清除活性间呈极显著正相关, 相关指数为 0.622。

表 7 不同采收期藜麦芽苗菜总多酚、总黄酮和体外抗氧化活性的相关性分析  
Table 7 Correlation analysis of total polyphenol, total flavonoid and in vitro antioxidant activities of quinoa sprouts at different harvesting periods

指标 Index	总多酚 Total polyphenol	总黄酮 Total flavonoid	DPPH 清除活性 DPPH scavenging activity	ABTS 清除活性 ABTS scavenging activity
总多酚 Total polyphenol	1.000			
总黄酮 Total flavonoid	0.393**	1.000		
DPPH 清除活性 DPPH scavenging activity	0.738**	0.330**	1.000	
ABTS 清除活性 ABTS scavenging activity	0.750**	0.509**	0.622**	1.000

“\*\*” 表示在  $P < 0.01$  水平相关性极显著。  
“\*\*\*” indicates extremely significant correlation at  $P < 0.01$  level.

### 2.5 不同来源藜麦材料的聚类分析

将藜麦材料进行二阶聚类分析, 不同类群及各类群指标见表 8 和表 9。类群 I 包括 21 d 时采收的 Y1~Y19 号品种, 其中一半来自于张家口市农业科学院, 一半来自于伊犁哈萨克自治州农业科学研究所, 该类群的藜麦苗功能活性成分最高, 品质鲜嫩, 但生物产量较低, 占样品总量的 20.00%。

类群 II 包括 28~49 d 时采收的 Y1~Y10 号品种, 该类苗菜籽粒均来自于张家口市农业科学院, 其功能活性成分较高, 生物产量较高, 占样品总量的 42.1%。类群 III 包括 28~49 d 时采收的 Y11~Y19 号品种, 该类苗菜籽粒全部来自于伊犁哈萨克自治州农业科学研究所, 其功能活性成分较低, 生物产量较高, 占总样品量的 37.9%。

表 8 不同来源藜麦芽苗菜材料聚类分析  
Table 8 Cluster analysis of different sources of quinoa sprouts

来源 Source	总份数 Total number	类群 I Group I		类群 II Group II		类群 III Group III	
		份数 Number	占比 Proportion (%)	份数 Number	占比 Proportion (%)	份数 Number	占比 Proportion (%)
张家口 Zhangjiakou	50	10	20.00	40	80.00	0	0.00
伊犁 Yili	45	9	20.00	0	0.00	36	80.00

表 9 不同类群藜麦的总多酚含量、总黄酮含量、抗氧化活性、株高和鲜重  
Table 9 Contents of total polyphenol and total flavonoid, antioxidant activity, plant height and fresh weight among different groups of quinoa

组合 Group	总多酚 Total polyphenol (mg GAE/g DW)		总黄酮 Total flavonoid (mg RE/g DW)		DPPH 清除活性 DPPH scavenging activity (mg TE/g DW)		ABTS 清除活性 ABTS scavenging activity (mg TE/g DW)		株高 Plant height (cm)		鲜重 (g/株) Fresh weight (g/plant)	
	平均值 Mean	标准偏差 SD	平均值 Mean	标准偏差 SD	平均值 Mean	标准偏差 SD	平均值 Mean	标准偏差 SD	平均值 Mean	标准偏差 SD	平均值 Mean	标准偏差 SD
类群 I Group I	12.88	1.03	30.89	3.54	16.34	1.97	34.13	2.81	15.57	0.54	9.27	0.48
类群 II Group II	11.21	0.89	25.37	3.03	13.82	1.58	27.52	3.38	40.10	15.92	34.24	19.81
类群 III Group III	10.76	0.88	24.02	3.31	13.37	1.46	25.21	3.22	40.81	17.58	21.52	11.34
平均值 Mean	11.38	1.20	25.96	4.10	14.15	1.95	27.97	4.56	35.46	17.90	24.43	17.36

### 3 讨论

藜麦适宜生长于阳光充沛、昼夜温差显著且降水较少的高海拔冷凉气候区。海南属热带季风海洋性气候，四季界限不清晰，夏无极端高温，冬无严寒，年均气温较高，干湿季分明，光、热和水资源充沛。这些气候特征能够为藜麦幼苗生长营造适宜环境，因此在海南发展藜麦芽苗菜产业具备可行性。

本研究结果表明，藜麦芽苗菜在生长初期较为缓慢，35 d 后生长加速，于 49 d 达到峰值。研究<sup>[17]</sup>指出，播种时节与环境温度显著影响藜麦苗的生长速率，且粗纤维含量过高会降低苗菜的适口性。随着生长周期的延长，藜麦苗体内糖分积累增加，为粗纤维合成提供了条件。至孕穗期，茎秆出现一定程度的木质化。因此，研究<sup>[29-30]</sup>建议为保持良好口感，藜麦苗宜在株高约 30 cm 时采收，这与本研究中 35 d 时藜麦芽苗菜的生物产量（株高 30.76 cm，鲜重 18.71 g/株）相吻合。功能活性成分研究是评估藜麦芽苗菜品质的重要指标。多酚是一类具有抗氧化、抗炎和抗癌等多种生物活性的化合物，广泛存在于植物性食品中，包括类黄酮、酚酸和木脂素等<sup>[31]</sup>。本研究测得藜麦芽苗菜多酚含量范围在 9.03~15.00 mg GAE/g DW，与 Gómez 等<sup>[32]</sup>测得的 20 d 时藜麦苗多酚含量（969.00~1195.00 mg GAE/100 g DW）相近，略高于陆敏佳等<sup>[33]</sup>所测藜麦叶多酚含量（4.48~6.75 mg GAE/g DW），但低于 Wan 等<sup>[34]</sup>所测结果（55.58~65.29 mg GAE/g DW）。这种差异可能由于材料及提取方法的不同，研究<sup>[35]</sup>表明不同提取方式对亚麻籽等多酚提取率影响显著，超声波辅助提取组的提取率可达同等条件下未超声组的 2 倍。本研究还发现，藜麦芽苗菜不同采收期的总酚含量存在显著差异，与罗秀秀等<sup>[36]</sup>在藜麦苗营养品质研究中的结果一致。特别是 21 d 采收的幼苗总酚含量较高，这可能与酚类物质帮助幼苗适应环境变化和提高了抗逆性有关<sup>[37]</sup>。此外，萌发过程中的生物合成与转化以及结合酚的释放可能增加了幼苗的多酚含量，而后期含量的降低可能归因于不溶性或不可提取的蛋白质-多酚复合物的形成及低分子量多酚的聚合<sup>[38]</sup>，这与萝卜芽苗菜多酚及抗氧化活性的变化趋势相似<sup>[39]</sup>。Yeasmen 等<sup>[40]</sup>研究了 3-8 月生长周期下糖枫树叶酚类物质及相关抗氧化活性的变化，发现幼叶总多酚含量较高可能与光保护假说有关，即幼叶具有不成熟的叶绿体结构，光

合装置中吸收光子的能力较弱，比成熟叶需要更多的光保护，且推测糖枫树叶中大多酚类化合物的生物合成主要发生在叶片扩展阶段和生育阶段。黄酮类化合物作为重要的植物次级代谢产物，属于多酚类物质，具有抗菌、抗病毒、抗炎和抗氧化等多种特性。本研究中，不同采收期藜麦芽苗菜的总黄酮含量在 17.23~36.03 mg RE/g DW，略高于张琴萍<sup>[24]</sup>所测结果（18.48~30.38 mg RE/g DW），这可能与海南地区紫外线辐射较强，植物为保护自身而合成更多黄酮类化合物有关<sup>[41]</sup>。研究<sup>[42]</sup>采用分光光度法和高效液相色谱法对藜麦叶黄酮类化合物进行了定量分析，结果显示所测材料中黄酮类化合物含量为 131.80 mg GAE/100 g DW，对没食子酸、儿茶素、山奈酚和桑黄素等物质进行定量发现，儿茶素含量最高。

本研究中，藜麦芽苗菜的 DPPH 与 ABTS 清除活性整体呈下降趋势，但不同品种间存在一定差异。Gómez 等<sup>[32]</sup>测得 20 d 生长期藜麦苗甲醇提取物的 DPPH 清除活性为 7.64~8.44 g TE/kg DW，略低于 Villacrés 等<sup>[43]</sup>所测藜麦绿叶在 80 d 时的抗氧化值（11.05 g TE/kg DW）。这可能是采收时间影响藜麦苗抗氧化活性，或是藜麦品种类型和农业环境条件不同所致<sup>[32]</sup>。相关性分析显示，藜麦芽苗菜的总多酚含量、总黄酮含量与抗氧化活性之间存在显著相关性。这与 Zhang 等<sup>[41]</sup>对菠菜、苋菜和红薯的研究结果类似，这 3 种叶菜中，叶绿素、类胡萝卜素、总黄酮和抗氧化能力间显著相关，相关系数大于 0.70。赵齐燕等<sup>[44]</sup>在紫云英芽苗菜的研究中也得出了相同结论，并认为山奈酚、槲皮素和阿魏酸等酚类物质是苗菜抗氧化活性的主要贡献者。然而，豌豆苗<sup>[45]</sup>在 0~4 d 和苦苣芽<sup>[46]</sup>在 0~7 d 的生长期，总多酚和总黄酮含量逐渐增加，自由基清除活性也逐渐增强，且彼此间存在显著相关性。二阶聚类可同时对连续变量和离散变量进行聚类分析，可适应大样本数据量的计算<sup>[47]</sup>。聚类结果表明，21 d 采收的苗菜功能活性成分含量最高，由张家口市农业科学院提供的藜麦籽粒收获的苗菜功能活性成分表现最佳。结合生物产量和适口性来看，35 d 采收的 Y1~Y10 号藜麦苗功能活性成分和生物产量较高，适口性较好，适合用于苗菜推广。

总体而言，随着采收期的变化，藜麦芽苗菜的株高和鲜重显著增加，总多酚、总黄酮含量以及自由基清除活性整体呈下降趋势。其中，藜麦芽苗菜

生长至 35 d 后, 总多酚含量趋于稳定; 生长至 28 d 后, 总黄酮含量和抗氧化活性逐渐趋于稳定。但在 42~49 d 生长期, ABTS 清除活性显著升高至 28.11 mg TE/g DW。本研究中的相关性分析、聚类分析与总多酚、总黄酮含量及抗氧化活性变化结果高度一致。

#### 4 结论

藜麦芽苗菜在 21~49 d 时总多酚和总黄酮含量降低, 总多酚含量在生长至 35 d 后趋于稳定, 总黄酮含量在生长至 28 d 后趋于稳定, 抗氧化活性也随之降低, 在 28 d 后趋于稳定。在 35 d 时, 来自于河北省张家口市农业科学院的 Y1~Y10 号品种藜麦芽苗菜生物产量较高, 品质较为鲜嫩, 总黄酮和总多酚含量较高, 且具备一定的 DPPH 和 ABTS 清除活性, 可为海南省新型苗菜产品的开发提供参考。

#### 参考文献

- [1] 任贵兴, 杨修仕, 么杨. 中国藜麦产业现状. 作物杂志, 2015(5): 1-5.
- [2] 张燕红, 郭占斌, 刘瑞香. 50 份藜麦种质资源农艺性状的综合分析与评价. 中国农业科技导报, 2024, 26(6): 45-54.
- [3] 杨瑞, 党斌, 张杰, 等. 青海青稞、燕麦、藜麦营养品质及抗氧化活性比较研究. 中国粮油学报, 2022, 37(5): 63-69.
- [4] Zhou X Y, Yue T, Wei Z F, et al. Evaluation of nutritional value, bioactivity and mineral content of quinoa bran in China and its potential use in the food industry. *Current Research in Food Science*, 2023, 7: 100562.
- [5] Srinivasu S R, Eligar S M. Physico-chemical and techno-functional characterization of quinoa bran protein concentrate. *Journal of Cereal Science*, 2024, 116: 103835.
- [6] Ayub M, Castro-Alba V, Lazarte C E. Development of an instant-mix probiotic beverage based on fermented quinoa with reduced phytate content. *Journal of Functional Foods*, 2021, 87: 104831.
- [7] Abdelshafy A M, Rashwan A K, Osman A I. Potential food applications and biological activities of fermented quinoa: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 2024, 144: 104339.
- [8] Zhang L, Xiong T, Wang X F, et al. Pickering emulsifiers based on enzymatically modified quinoa starches: Preparation, microstructures, hydrophilic property and emulsifying property. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2021, 190: 130-140.
- [9] Pandya A, Thiele B, Köppchen S, et al. Characterization of bioactive phenolic compounds in seeds of Chilean quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) germplasm. *Agronomy*, 2023, 13(8): 2170.
- [10] Hu Y C, Zhou J, Cao Y N, et al. Anti-aging effects of polysaccharides from quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) in improving memory and cognitive function. *Journal of Functional Foods*, 2022, 94: 105097.
- [11] Zeyneb H, Pei H R, Cao X L, et al. In vitro study of the effect of quinoa and quinoa polysaccharides on human gut microbiota. *Food Science & Nutrition*, 2021, 9(10): 5735-5745.
- [12] Zhu X C, Yang G Y, Shen Y B, et al. Physicochemical properties and biological activities of quinoa polysaccharides. *Molecules*, 2024, 29(7): 1576.
- [13] Tan M H, Zhao Q S, Zhao B. Physicochemical properties, structural characterization and biological activities of polysaccharides from quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) seeds. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2021, 193: 1635-1644.
- [14] Teng C, Qin P Y, Shi Z X, et al. Structural characterization and antioxidant activity of alkali-extracted polysaccharides from quinoa. *Food Hydrocolloids*, 2021, 113: 106392.
- [15] Xing B, Teng C, Sun M H, et al. Effect of germination treatment on the structural and physicochemical properties of quinoa starch. *Food Hydrocolloids*, 2021, 115: 106604.
- [16] Xing B, Zhang Z, Zhu M L, et al. The gluten structure, starch digestibility and quality properties of pasta supplemented with native or germinated quinoa flour. *Food Chemistry*, 2023, 399: 133976.
- [17] 张魏斌, 温日宇, 姜庆国, 等. 不同种植模式下采收期对藜麦芽苗菜生物量及营养品质的影响. *陕西农业科学*, 2023, 69(8): 29-33.
- [18] Lim J G, Park H M, Yoon K S. Analysis of saponin composition and comparison of the antioxidant activity of various parts of the quinoa plant (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Food Science & Nutrition*, 2020, 8(1): 694-702.
- [19] Pathan S U, Siddiqui R A. Nutritional composition and bioactive components in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) greens: a review. *Nutrients*, 2022, 14(3): 558.
- [20] Altikardes E, Güzel N. Impact of germination pre-treatments on buckwheat and quinoa: Mitigation of anti-nutrient content and enhancement of antioxidant properties. *Food Chemistry: X*, 2024, 21: 101182.
- [21] Obaroako J U, Liu L, Zhang S W, et al. Antioxidant capacity of germinated quinoa-based yoghurt and concomitant effect of sprouting on its functional properties. *Food Science & Technology*, 2019, 116: 108592.
- [22] Zhang Q P, Bao X, Sun M H, et al. Changes in bio-accessibility, polyphenol profile and antioxidants of quinoa and djuilis sprouts during in vitro simulated gastrointestinal digestion. *Food Science & Nutrition*, 2020, 8(8): 4232-4241.
- [23] 胡一晨, 赵钢, 秦培友, 等. 藜麦活性成分研究进展. *作物学报*, 2018, 44(11): 1579-1591.
- [24] 张琴萍. 藜麦芽苗菜营养功能品质特性研究. 成都: 成都大学, 2020.
- [25] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. 食品安全国家标准 食品中水分的测定: GB 5009.3-2016. 北京: 中国标准出版社, 2016.
- [26] Qin P Y, Li W, Yao Y, et al. Changes in phytochemical compositions, antioxidant and  $\alpha$ -glucosidase inhibitory activities during the processing of tartary buckwheat tea. *Food Research International*, 2013, 50(2): 562-567.
- [27] Sarker U, Oba S. Response of nutrients, minerals, antioxidant leaf pigments, vitamins, polyphenol, flavonoid and antioxidant activity in selected vegetable amaranth under four soil water content. *Food Chemistry*, 2018, 252: 72-83.
- [28] Yao Y, Yang X S, Tian J, et al. Antioxidant and antidiabetic activities of black mung bean (*Vigna radiata* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2013, 61(34): 8104-8109.
- [29] Adameczewska-Sowińska K, Sowiński J, Jama-Rodzeńska A. The effect of sowing date and harvest time on leafy greens of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) yield and selected nutritional parameters. *Agriculture*, 2021, 11(5): 405.
- [30] 吴应齐, 姚理武, 吴丽芳, 等. 不同品系藜麦芽苗菜农艺性状及

- 营养品质评价. 浙江林业科技, 2021, 41(4): 56-61.
- [31] Aatif M. Current understanding of polyphenols to enhance bioavailability for better therapies. *Biomedicines*, 2023, 11(7): 2078.
- [32] Gómez M J R, Magro P C, Blazquez M R, et al. Nutritional composition of quinoa leafy greens: An underutilized plant-based food with the potential of contributing to current dietary trends. *Food Research International*, 2024, 178: 113862.
- [33] 陆敏佳, 蒋玉蓉, 袁俊杰, 等. 藜麦叶片多酚最佳提取工艺及其抗氧化性研究. *中国粮油学报*, 2016, 31(1): 101-106.
- [34] Wan Y, Zhou M, Le L Q, et al. Evaluation of morphology, nutrients, phytochemistry and pigments suggests the optimum harvest date for high-quality quinoa leafy vegetable. *Scientia Horticulturae*, 2022, 304: 111240.
- [35] Teh S X, Birch E J. Effect of ultrasonic treatment on the polyphenol content and antioxidant capacity of extract from defatted hemp, flax and canola seed cakes. *Ultrasonics Sonochemistry*, 2014, 21(1): 346-353.
- [36] 罗秀秀, 秦培友, 杨修仕, 等. 藜麦苗生长过程中功能成分含量及抗氧化活性变化研究. *作物杂志*, 2018(2): 123-128.
- [37] 白雅晖, 虞慧彬, 徐晓东, 等. 对不同品种蚕豆芽苗菜生长期产量、品质及相关性的研究. *中国农业大学学报*, 2021, 26(10): 98-107.
- [38] Chen L, Wu J E, Li Z M, et al. Metabolomic analysis of energy regulated germination and sprouting of organic mung bean (*Vigna radiata*) using NMR spectroscopy. *Food Chemistry*, 2019, 286: 87-97.
- [39] 鲁燕舞, 张晓燕, 耿殿祥, 等. 光质对萝卜芽苗菜总酚类物质含量及抗氧化能力的影响. *园艺学报*, 2014, 41(3): 545-552.
- [40] Yeasmen N, Orsat V. Phenolic mapping and associated antioxidant activities through the annual growth cycle of sugar maple leaves. *Food Chemistry*, 2023, 428: 136882.
- [41] Zhang Y, Huang W L, Zhang C L, et al. Variation in the main health-promoting compounds and antioxidant capacity of three leafy vegetables in Southwest China. *Molecules*, 2023, 28(12): 4780.
- [42] Vázquez L A, Pimentel C V, Fuentes C F, et al. Quinoa leaf as a nutritional alternative. *Ciencia Investigación Agraria*, 2019, 46(2): 137-143.
- [43] Villacrés E, Quelal M, Galarza S, et al. Nutritional value and bioactive compounds of leaves and grains from quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Plants*, 2022, 11(2): 213.
- [44] 赵齐燕, 唐宁, 贾鑫, 等. 两类紫云英苗菜生长过程中酚类物质及其抗氧化活性的变化. *食品工业科技*, 2022, 43(18): 12-20, 8.
- [45] 赵天瑶, 菘淑敏, 李少华, 等. 豌豆萌发过程中生长特性、酚类含量及抗氧化性变化. *中国农业大学学报*, 2019, 24(12): 1-9.
- [46] 孙坤坤, 卢奕霏, 侯泽豪, 等. 苦苣芽菜游离酚、结合酚及抗氧化活性研究. *西北农业学报*, 2020, 29(7): 1035-1044.
- [47] 黄正正, 杨思睿, 沈绍武, 等. 基于中医医院双重诊断的病例相关分组模型研究. *中国医院*, 2022, 26(12): 53-56.

## Effects of Variety and Harvesting Period on Total Flavonoids, Total Polyphenols and Antioxidant Activity of Quinoa Sprouts

Li Wenqi<sup>1</sup>, Duan Xueyan<sup>2</sup>, Hu Yichen<sup>1</sup>, Huang Zhaohui<sup>3,4</sup>, Qin Peiyu<sup>2</sup>

<sup>1</sup>College of Food and Bioengineering, Chengdu University, Chengdu 610106, Sichuan, China;

<sup>2</sup>Institute of Agri-Food Processing and Nutrition, Beijing Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Beijing 100097, China; <sup>3</sup>Hainan Tropical Ocean University, Sanya 572000, Hainan, China;

<sup>4</sup>Yazhou Bay Innovation Institute of Hainan Tropical Ocean University, Sanya 572000, Hainan, China)

**Abstract** Using 19 quinoa varieties from Hebei and Xinjiang as experimental materials, the total polyphenol and total flavonoid contents of quinoa sprouts during 21-49 d were analyzed, and their antioxidant activities were evaluated by DPPH (1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl) and ABTS [2,2'-azino-bis (3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid)] methods. The results showed that with the change of growth period, plant height and fresh weight of quinoa sprouts increased significantly; the total polyphenol and total flavonoid contents showed an overall downward trend; and the antioxidant activity also changed accordingly and was significantly positively correlated with the total polyphenol and total flavonoid contents. Combined with the results of cluster analysis, it was found that when the quinoa varieties Y1-Y10 from Hebei Province grew to 35 d, the total polyphenol (10.38-12.71 mg GAE/g DW) and total flavonoid (21.92-26.28 mg RE/g DW) contents were relatively high, and they exhibited certain antioxidant activities (DPPH scavenging activity: 11.65-15.64 mg TE/g DW; ABTS scavenging activity: 24.56-33.98 mg TE/g DW). Furthermore, these varieties showed high biological yields (plant height: 27.97-33.93 cm; fresh weight: 8.81-29.17 g/plant) and relatively tender quality.

**Key words** *Chenopodium quinoa* Willd.; Sprouts; Total polyphenol; Total flavonoid; Antioxidant activity