

大麦苗粉中氨基酸组成及含量

Analysis of compositions and contents of amino acids in barley leaf powder

卢伟 陆宁

LU Wei LU Ning

(安徽农业大学茶与食品科技学院, 安徽 合肥 230036)

(College of Tea and Food Science and Technology, Anhui Agricultural University, Hefei, Anhui 230036, China)

摘要: 对大麦苗粉中的氨基酸进行了定性、定量分析研究。结果表明: 大麦苗粉中共分析检测出 26 种氨基酸, 其中, 水解氨基酸 17 种, 游离氨基酸 26 种。大麦苗粉中 17 种水解氨基酸总含量为 9 163.422 mg/100 g, 其中人体必需氨基酸含量占总含量的 40% 以上, 大麦苗粉中含有 9 种药用氨基酸, 其中 Glu 含量最高, 达 1 390.873 mg/100 g; 大麦苗粉中 26 种游离氨基酸总含量为 983.852 mg/100 g; 其中 Asp、Glu、Arg、Pro、His、Val 6 种游离氨基酸, 是形成大麦苗粉风味的主要氨基酸。

关键词: 大麦苗粉; 水解氨基酸; 游离氨基酸; 氨基酸模式谱; 风味

Abstract: Studied the qualitative and quantitative analysis of amino acids in barley leaf powder. The results showed that there were 26 kinds of amino acids (17 kinds of hydrolyzed amino acids and 26 kinds of free amino acids) were detected in barley leaf powder. The total content of hydrolytic amino acids was 9 163.422 mg/100 g including more than 40% essential amino acids in human body. There were 9 kinds of therapeutic amino acids (Glu content was the highest, up to 1 390.873 mg/100 g) were contained in barley leaf powder. The total content of free amino acids (26 types) in barley leaf powder was 983.852 mg/100 g. The 6 kinds of free amino acids, such as Asp, Glu, Arg, Pro, His, and Val, were the main amino acids that form the flavor of barley leaf powder.

Keywords: barley leaf powder; hydrolytic amino acids; free amino acid; amino acid pattern spectrum; flavor

大麦苗粉是取自大麦 15~30 cm 的嫩叶, 经割青、清洗、杀青、干燥、粉碎等独特的制粉工艺加工而成, 具有高膳食纤维、高蛋白、高维生素、低糖、低脂肪的特点。研究^[1-3]发现,

大麦苗粉具有提高睡眠质量、增强免疫力、促进伤口愈合、排毒养颜、延缓衰老、抗氧化、解毒、缓解抑郁等保健功能, 比较适宜于亚健康人群食用。

大麦苗粉中含有丰富的蛋白质, 氨基酸是蛋白质的组成单位, 但目前有关大麦苗粉中所含氨基酸营养价值的研究较少, 多见大麦苗粉中维生素、脱镁叶绿酸、叶绿素、蛋白质、矿物质、黄酮类等成分的研究^[4-6]。本研究拟通过全自动氨基酸分析仪对大麦苗粉中所含的 18 种水解氨基酸和 35 种游离氨基酸进行测定, 为进一步开发应用大麦苗粉提供一定的科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

1.1.1 材料与试剂

大麦苗粉: 市售;

盐酸: 优级纯, 西陇化工股份有限公司;

4% 磷基水杨酸: 上海阿拉丁生化科技股份有限公司。

1.1.2 主要仪器设备

日立全自动氨基酸分析仪: L-8900 型, 日本 Hitachi 公司;

真空干燥箱: DZF-6050 型, 上海三发科学仪器有限公司;

单列单控三孔水浴锅: HH-3A 型, 江苏金坛市金城国胜实验仪器厂;

分析天平: BS210S 型, 北京赛多利斯天平有限公司;

超速冷冻离心机: 5417R 型, 德国 Eppendorf 公司;

数控超声清洗器: JK-5000DB 型, 合肥金尼克机械制造有限公司;

电热鼓风恒温干燥箱: DGT-G 42 型, 合肥华德利科学器材有限公司。

1.2 试验方法

1.2.1 水解氨基酸测定样品的制备 根据文献^[7~8], 样品制备方法修改如下:

作者简介: 卢伟, 女, 安徽农业大学在读硕士研究生。

通信作者: 陆宁(1964—), 女, 安徽农业大学教授, 博士。

E-mail: luning@ahau.edu.cn

收稿日期: 2018-08-29

(1) 称取 100 mg 大麦苗粉置于消解管中,加入 6 mol/L 的 HCl 溶液 10 mL,然后充 N_2 盖紧管盖。

(2) 置于 105 °C 电热鼓风恒温干燥箱中水解 22~24 h。

(3) 用超纯水定容至 50 mL。

(4) 取 1 mL 于小烧杯中,在 55~60 °C 真空干燥箱中烘干。

(5) 向烧杯中加入 1 mL 0.02 mol/L 的 HCl 溶解后,过 0.45 μ m 水膜上样。

1.2.2 游离氨基酸测定样品的制备 根据文献[9],样品制备方法修改如下:

(1) 称取 100 mg 大麦苗粉置于 10 mL 离心管中,加入 4% 的磺基水杨酸溶液 5 mL,将离心管置于超声仪中,超声浸提 30 min。

(2) 取上清液于 2 mL 离心管中,于 4 °C,12 000 r/min 离心 30 min。

(3) 取离心后的上清液过 0.45 μ m 水膜上样。

1.2.3 全自动氨基酸分析仪分析条件 采用全自动氨基酸分析仪测定大麦苗粉中氨基酸的含量,分离柱:4.6 mm $\times$ 60 mm,3 μ m 的离子交换树脂;反应柱:4.6 mm ID $\times$ 40 mm L(柱后衍生);输液泵压力:0~30 MPa;进样量:20 μ L;凹面衍射光栅,波长:570,440 nm。

2 结果与分析

2.1 水解氨基酸

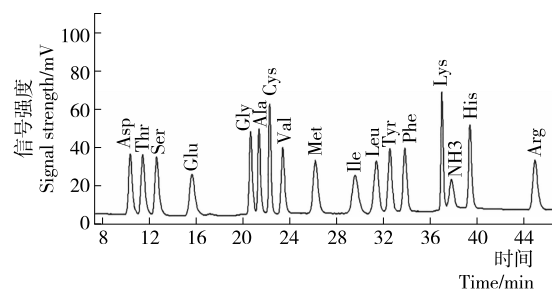
2.1.1 水解氨基酸图谱分析 图 1 为 17 种氨基酸分析色谱图。其中,570 nm(VIS1)波长检测到 16 种氨基酸的高度峰,440 nm (VIS2)波长检测到脯氨酸(Pro)的高度峰。其中图 1 (a)、(c)为 17 种氨基酸标准品在 570,440 nm 处的图谱,可以看出氨基酸峰分离效果良好。

2.1.2 大麦苗粉水解氨基酸总量及组成分析

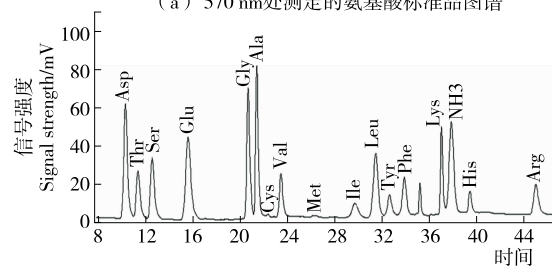
(1) 大麦苗粉水解氨基酸总量分析:由于试验中采用蛋白质保护性盐酸水解法^[10-11],Trp 在盐酸水解蛋白质的过程中被破坏^[12-13],所以测定氨基酸标准品和大麦苗粉的水解氨基酸时,没有检测到 Trp。如表 1 所示,大麦苗粉中 Glu 含量最高,占水解氨基酸总量的 15.179%,其次是 Asp,占水解氨基酸总量的 13.307%。Gln 和 Asn 在水解过程中会产生 Glu 和 Asp^[14-15],可能是 Glu 和 Asp 检测结果含量比较高的原因之一。Met 和 Cys 含量较低,分别占水解氨基酸总量的 0.328%和 0.756%,可能是 Met 和 Cys 与空气接触,发生氧化反应^[16],损失了部分 Met 和 Cys。

大麦苗粉水解氨基酸中有 7 种人体必需氨基酸,占水解氨基酸总量的 40%以上,说明大麦苗粉氨基酸含量丰富,营养价值较高。必需氨基酸含量与非必需氨基酸含量非常接近 WHO/FAO 标准规定的 40%和 60%^[17]。

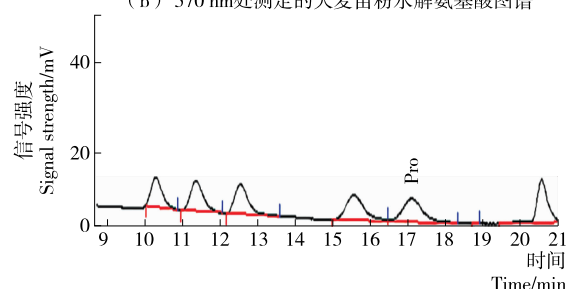
(2) 大麦苗粉必需氨基酸组成分析:为了较好地说明大麦苗粉的营养价值,采用氨基酸比值系数法^[18-19]对大麦苗粉中的必需氨基酸详细分析。氨基酸比值系数法,即根据氨基酸平衡理论利用 WHO/FAO 的必需氨基酸模式计算样品中必需氨基酸的氨基酸比值(Ratio of amino acid,RAA),氨基酸比值系数(Ratio coefficient of amino acid,RC)和比值系



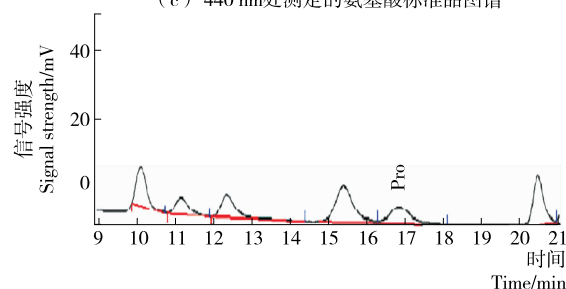
(a) 570 nm处测定的氨基酸标准品图谱



(b) 570 nm处测定的大麦苗粉水解氨基酸图谱



(c) 440 nm处测定的氨基酸标准品图谱



(d) 440 nm处测定的大麦苗粉水解氨基酸图谱

图 1 氨基酸标准品、大麦苗粉水解氨基酸分析图谱

Figure 1 The Chromatograms of standard amino acids and hydrolyzed samples of barley leaf powder

数分(Score of ratio coefficients, SRC)。RC 值的大小可反映氨基酸的过剩与不足程度,越接近 1,说明该必需氨基酸越接近 WHO/FAO 的推荐值;RC>1,说明该氨基酸含量相对过剩;RC<1,则说明该氨基酸含量相对缺乏,RC 值最低的氨基酸为第一限制氨基酸。SRC 是评价蛋白质营养价值的指标,越接近 100,说明该物质中必需氨基酸含量越均衡,该物质的营养价值越高。

由表 2 可知,大麦苗粉中 Val、Ile 和 Met+Cys 占总水解氨基酸质量分数低于模式谱标准。从必需氨基酸的 RAA 和 RC 的计算结果可以看出,Lys 含量较符合氨基酸模式谱的要求;Thr、Leu 和 Phe+Tyr 含量相对过剩。大麦苗粉中 Met 含量较低,为大麦苗粉的第一限制氨基酸。

(3) 大麦苗粉药用氨基酸组成分析:自然界中氨基酸有

20 多种,其中 Glu、Asp、Arg、Gly、Phe、Tyr、Met、Leu、Lys 9 种氨基酸在一般植物中含量少,有些氨基酸人体不能合成,但又是维持机体氮平衡所必需的,称为药用氨基酸^[20]。

由表 3 可知,大麦苗粉中共检测出 9 种药用氨基酸,其中 Glu 的含量最高,占药用总氨基酸的 23.758%,谷氨酸与血氨结合形成谷酰胺,具有解毒的功效,而且谷酰胺具有保护肝脏、促进伤口愈合、缓解疲劳等疗效^[21-23],可能是大麦

苗具有解毒功效的原因之一。大麦苗粉中 Asp 的含量也比较高,达到1 219.391 mg/100 g。Asp 在消除疲劳、预防高血压、保护心肌^[24-26]等方面具有重要意义。它是多胺合成的起始物,在调节中枢神经系统原发性免疫反应中至关重要^[27-29],大麦苗粉富含 Arg 可能是大麦苗粉具有提高人体免疫力的原因之一。

表 3 大麦苗粉中药用氨基酸的含量及比例

Table 3 Therapeutic amino acid contents andpercentages of barley leaf powder

表 1 水解氨基酸分析测定结果[†]

Table 1 The analysis results of hydrolytic amino acids

名称	出峰时间/ min	含量/ (10 ⁻² mg · g ⁻¹)	占总水解氨基 酸质量分数/%
Asp	10.293	1 219.391	13.307
Thr*	11.360	456.113	4.978
Ser	12.547	539.212	5.884
Glu	15.567	1 390.873	15.179
Pro	17.113	546.241	5.961
Gly	20.567	579.728	6.327
Ala	21.280	785.320	8.570
Cys	22.200	69.285	0.756
Val*	23.313	416.074	4.541
Met*	26.100	30.053	0.328
Ile*	29.493	243.657	2.659
Leu*	31.307	767.549	8.376
Tyr	32.467	307.272	3.353
Phe*	33.740	493.344	5.384
Lys*	36.900	559.379	6.104
His	39.293	253.079	2.762
Arg	44.847	506.852	5.531
必需氨基酸	—	3 721.436	40.612
非必需氨基酸	—	5 441.986	59.388
水解氨基酸总量	—	9 163.422	100.000

† “*” 必需氨基酸。

表 2 大麦苗粉中人体必需氨基酸组成分析[†]

Table 2 The analysis of essential amino acid composition in barley leaf powder

氨基酸组成	WHO/FAO 标准模式	占总水解氨基 酸质量分数/%	RAA	RC	SRC
Thr	4.000	4.978	3.064	1.264	
Val	5.000	4.541	2.236	0.923	
Leu	7.000	8.376	2.946	1.216	
Ile	4.000	2.659	1.637	0.675	60.343
Lys	5.500	6.104	2.733	1.128	
Phe+Tyr	6.000	8.737	3.586	1.480	
Met+Cys	3.500	1.084	0.763	0.315	

† 氨基酸比值(RAA)=样品中氨基酸含量/WHO/FAO 模式谱氨基酸含量;氨基酸比值系数(RC)=氨基酸比值/氨基酸比值均数;比值系数分(SRC)=100-CV×100;CV:RC 的变异系数。

药用氨基酸	含量/ (10 ⁻² mg · g ⁻¹)	占总药用氨基酸 质量分数/%
Asp	1 219.391	20.828
Glu	1 390.873	23.758
Gly	579.728	9.902
Met	30.052	0.513
Leu	767.549	13.111
Tyr	307.272	5.249
Lys	559.379	9.555
Arg	506.852	8.658
Phe	493.344	8.427
药用氨基酸总量	5 854.440	100.000

2.2 大麦苗粉游离氨基酸

2.2.1 游离氨基酸图谱分析 图 2 为氨基酸标准品和大麦苗粉样品中 35 种游离氨基酸色谱图。其中,440 nm 处检测到脯氨酸(Pro)的高度峰;570 nm 处检测到其他氨基酸的高度峰。由图 2(a)可以看出,氨基酸峰分离效果良好,说明该种检测方法条件设置合适。由图 2(b)可知,大麦苗粉中含有 25 种游离氨基酸且每种氨基酸分离效果良好。对比图 2(c)、(d)可知,Pro 在 440 nm 处分离良好。

2.2.2 大麦苗粉游离氨基酸总量及组成分析

(1) 大麦苗粉游离氨基酸总量分析:由表 4 可知,大麦苗粉中游离氨基酸总量为 983.852 mg/100 g,共含有 26 种游离氨基酸,包含人体所需的 8 种必需氨基酸,说明大麦苗粉中氨基酸种类齐全,营养丰富。

(2) 大麦苗粉中风味氨基酸组成分析:氨基酸根据所带侧链基团的不同呈现不同的风味,一般 D-氨基酸呈现甜味;L-氨基酸的侧链基团较小时,呈现甜味;当侧链基团较大并带有碱基时,呈现苦味;当侧链基团含有芳香基团时,呈现芳香味。甜味氨基酸主要包括 Gly、Ala、Ser、Thr、Pro、His;苦味氨基酸主要包括 Val、Leu、Ile、Met、Trp、Arg;鲜味氨基酸主要包括 Lys、Glu、Asp;芳香族氨基酸主要包括 Phe、Tyr、Cys^[30-31]。

氨基酸作为营养价值评价指标,参与风味物质的合成,自身也具有呈味作用^[32]。水解氨基酸在水中不能立即水解,风味表现不明显,游离氨基酸比较容易将风味表现出来,因此游离氨基酸对风味影响较大^[33]。不同的氨基酸呈现不同的味道,其中 8 种必需氨基酸中 Thr 呈现甜味,Lys 呈现

鲜味, Phe 呈现芳香味, 其他 5 种均呈现苦味。大麦苗粉中风味氨基酸对大麦苗粉风味影响的顺序为: 鲜味氨基酸 > 甜味氨基酸 > 苦味氨基酸 > 芳香族氨基酸。大麦苗粉中风味氨基酸总含量为 534.945 mg/100 g, 其中 Glu 含量最高, 为 82.512 mg/100 g。根据表 5 可以看出, Glu 的 RCT 值最大,

为 1 650.240, 对大麦苗粉风味的呈现贡献最大; 大麦苗粉中呈现甜味的氨基酸主要有 Pro、His, 呈现苦味的氨基酸有 Val、Arg, 呈现鲜味的氨基酸主要有 Glu、Asp, 因此 Pro、His、Val、Arg、Glu、Asp 6 种游离氨基酸使大麦苗粉呈现出独特风味。

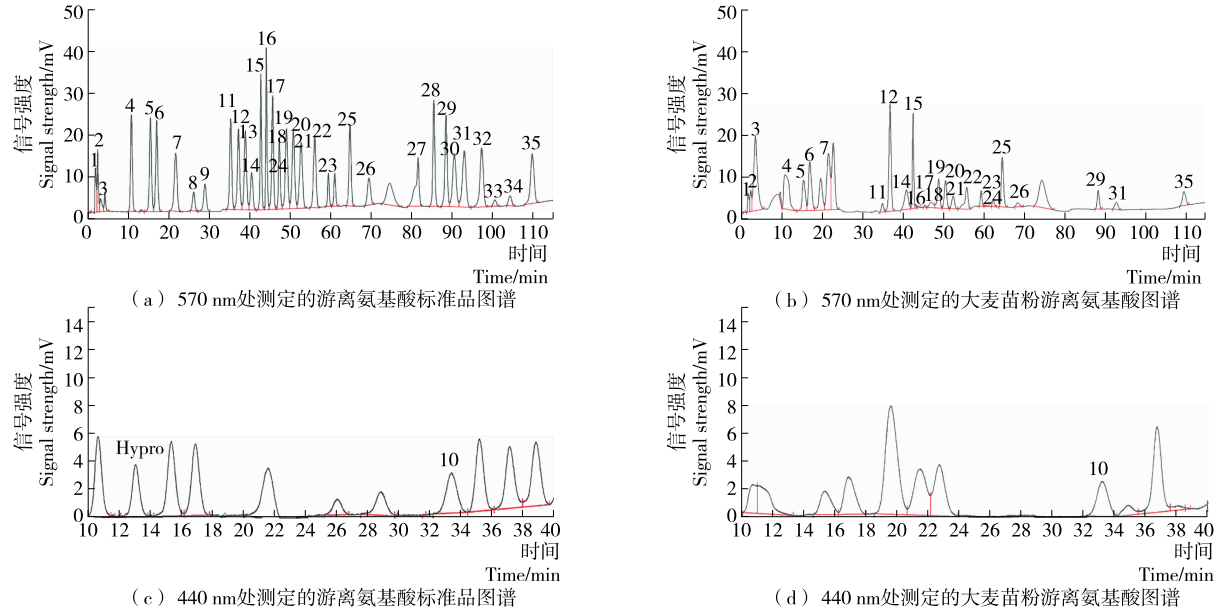


图 2 游离氨基酸标准品、大麦苗粉游离氨基酸分析图谱

Figure 2 The Chromatograms of standard amino acids and free amino acid samples of barley leaf powder

表 4 游离氨基酸分析测定结果[†]

Table 4 The analysis results of free amino acids

序号	出峰时间/min	标样氨基酸	含量/(10 ⁻² mg · g ⁻¹)	占总游离氨基酸质量分数/%	序号	出峰时间/min	标样氨基酸	含量/(10 ⁻² mg · g ⁻¹)	占总游离氨基酸质量分数/%
1	1.747	P-Ser	19.816	2.014	19	48.953	Ile*	23.207	2.359
2	2.287	Tau	16.626	1.690	20	50.640	Leu*	21.705	2.206
3	2.993	PEA	324.682	33.001	21	52.560	Tyr	16.443	1.671
4	10.620	Asp	69.393	7.053	22	55.920	Phe*	31.264	3.178
5	15.327	Thr*	28.984	2.946	23	59.293	β-Ala	21.701	2.206
6	16.880	Ser	40.600	4.127	24	60.867	β-AiBA	2.375	0.241
7	21.573	Glu	82.512	8.387	25	64.640	γ-ABA	32.606	3.314
8	26.020	Sar	0.000	0.000	26	69.327	Trp*	16.403	1.667
9	28.813	α-AAA	0.000	0.000	27	81.453	Hylys	0.000	0.000
10	33.353	Pro	51.794	5.264	28	85.347	Orn	0.000	0.000
11	35.147	Gly	3.617	0.368	29	88.367	Lys*	23.094	2.347
12	37.087	Ala	55.485	5.640	30	90.427	1-Mehis	0.000	0.000
13	38.780	Cit	0.000	0.000	31	92.880	His*	8.547	0.869
14	40.353	α-ABA	20.869	2.121	32	97.173	3-Mehis	0.000	0.000
15	42.600	Val*	36.551	3.715	33	100.420	Ans	22.726	2.310
16	43.953	Cys	1.565	0.159	34	104.200	Car	0.000	0.000
17	45.513	Met	1.055	0.107	35	109.673	Arg	0.000	0.000
18	47.167	Cysthi	10.232	1.040	总量	—	—	983.852	100.000

[†] “*”必需氨基酸。

表 5 大麦苗粉中风味氨基酸的含量及 RCT[†]
Table 5 The contents and RCT of flavor amino acid in barley leaf powder

分类	氨基酸名称	味觉阈值/ (10 ⁻² mg · mL ⁻¹)	含量/ (10 ⁻² mg · g ⁻¹)	RCT
甜味氨基酸	Gly	110.000	3.617	0.033
	Ala	60.000	55.485	0.925
	Ser	150.000	40.600	0.271
	Thr	260.000	28.984	0.111
	Pro	3.000	51.794	17.265
	His	0.200	8.547	42.735
苦味氨基酸	Val	1.500	36.551	24.367
	Leu	380.000	21.705	0.057
	Ile	90.000	23.207	0.258
	Met	30.000	1.055	0.035
	Trp	90.000	16.403	0.182
	Arg	10.000	22.726	2.273
鲜味氨基酸	Lys	50.000	23.094	0.462
	Glu	0.050	82.512	1 650.240
	Asp	3.000	69.393	23.131
芳香族氨基酸	Phe	150.000	31.264	0.208
	Tyr	260.000	16.443	0.063
	Cys	2.000	1.565	0.783
总量	—	—	534.945	—

† 氨基酸含量阈值比^[33-34](ratio of content and taste threshold, RCT), RCT=氨基酸含量(mg/100 g)/对应氨基酸阈值(mg/100 mL), RCT<1 时,该氨基酸对物质的风味基本无影响, RCT≥1 时,该氨基酸对物质的风味有影响, RCT 值越大,该氨基酸对风味影响越大。

3 结论

大麦苗粉中共检测出 26 种氨基酸,氨基酸种类多样,含量丰富,所以大麦苗粉营养价值较高。大麦苗粉含有 17 种水解氨基酸,其中 Glu 含量最丰富,高达 1 390.873 mg/100 g,其次是 Asp,含量为 1 219.391 mg/100 g。8 种人体必需氨基酸含量占总水解氨基酸的 40%以上, Met 为大麦苗粉的第一限制氨基酸。大麦苗粉中 PEA 含量最多,高达 324.682 mg/100 g, Asp、Glu、Arg、Pro、His、Val 6 种游离氨基酸,使大麦苗粉呈现出独特风味。

参考文献

[1] 张秋英,陈剑锋,庄宝华. 口服麦苗粉对人体健康效应的观察[J]. 中国农学通报, 2009, 25(18): 106-109.
[2] KATSUNORI Yamaura, NORIYUKI Nakayama, MAKI Shimada, et al. Antidepressant-like effects of young green barley leaf (*Hordeum vulgare* L.) in the mouse forced swimming test[J]. Pharmacognosy Res, 2012, 4(1): 22-26.
[3] JMASUMI Kamiyama, TAKAYUKI Shibamoto. Flavonoids with potent antioxidant activity found in young green barley

leaves[J]. Agricultural and Food Chemistry, 2012, 60: 6 260-6 267.
[4] 辛培尧, 普晓英, 杜娟, 等. 大麦籽粒和苗粉蛋白质含量的测定[J]. 品质分析, 2016(1): 58-61.
[5] 刘丹, 尹显峰. 大麦苗的开发利用概述[J]. 内江科技, 2014(2): 93-94.
[6] 高甜, 张慧, 韩宇斌, 等. 两种干燥方式对麦绿素粉品质的影响[J]. 食品与生物技术学报, 2015, 34(18): 822-827.
[7] 黄永连, 陈晓嘉, 韩秋珍. 氨基酸自动分析仪测定燕窝氨基酸组成[J]. 现代食品, 2016(12): 99-103.
[8] 冯笑笑, 李娟, 陈侨侨, 等. 翅果油树种仁蛋白氨基酸组成分析及营养价值评价[J]. 食品科学, 2016, 37(22): 160-165.
[9] 李琪, 李广, 张会妮. 兰州百合新鲜鳞片水解及游离氨基酸分析[J]. 食品科学, 2012, 33(20): 277-281.
[10] 闫春宇, 王素英, 董世瑞. 22 株螺旋藻(节旋藻)氨基酸成分分析及营养评价[J]. 食品与机械, 2015, 31(6): 21-27.
[11] 杨慧敏, 周文化, 李维敏, 等. 椰子水及其饮料中氨基酸组分分析[J]. 食品与机械, 2013, 29(6): 63-66.
[12] 赵凤敏, 李树君, 张小燕, 等. 不同品种马铃薯的氨基酸营养价值评价[J]. 中国粮油学报, 2014, 29(9): 13-18.
[13] 李煜, 郑德勇, 吴亮亮, 等. 茶渣中蛋白质和氨基酸分析及其营养价值评价[J]. 福建茶叶, 2015(1): 15-19.
[14] 邹元峰, 陈兴福, 杨文钰, 等. 不同生长年限党参氨基酸组分分析及营养价值评价[J]. 食品与发酵工业, 2010, 36(6): 146-150.
[15] 陈宗礼, 贺晓龙, 张向前, 等. 陕北红枣的氨基酸分析[J]. 中国农学通报, 2012, 28(34): 296-303.
[16] 张华, 杨鑫, 张英春, 等. 玉米蛋白中可溶性蛋白水解氨基酸组成的测定[J]. 中国粮油学报, 2007, 22(6): 19-22.
[17] 陈蓉, 吴启南, 沈蓓. 不同产地芡实氨基酸组成分析与营养价值评价[J]. 食品科学, 2011, 32(15): 239-244.
[18] 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, 10(2): 187-190.
[19] 李雪影. 薇菜中几种功能性成分的研究[D]. 合肥: 安徽农业大学, 2016: 14.
[20] 侯娜, 赵莉莉, 魏安智, 等. 不同种质花椒氨基酸组成及营养价值评价[J]. 食品科学, 2017, (18): 113-118.
[21] CAULI O, RODRIGO R, LLANSOLA M, et al. Glutamatergic and gabaergic neurotransmission and neuronal circuits in hepatic encephalopathy[J]. Metabolic Brain Disease, 2009, 24(1): 69-80.
[22] 蒋与刚, 徐琪寿. 条件性必需氨基酸在创伤愈合中的作用及其机制研究进展[J]. 氨基酸和生物资源, 2002, 24(3): 59-62.
[23] TONG B C, BARBUL A. Cellular and physiological effects of arginine[J]. Mini Reviews in Medicinal Chemistry, 2004, 4(8): 823-832.
[24] 李银平, 薛雪萍, 袁春龙, 等. 葡萄籽成分与营养评价[J]. 食品与发酵工业, 2006, 32(12): 108-113.
[25] 刘振鹏, 郭英英, 刘京晶, 等. 铁皮石斛品系与部位对氨基酸含量的影响[J]. 中国中药杂志, 2015, 40(8): 1 468-1 472.
[26] 孙悦, 贾明, 杨莉, 等. 山东引种无花果氨基酸及矿物质元素成分分析与评价[J]. 食品工业科技, 2015, 36(19): 352-360.

(下转第 85 页)

- 1994(2): 109-114.
- [4] 杨永平, 魏庆朝, 张鲁新, 等. 青藏铁路多年冻土地区热管路基三维数值分析[J]. 中国铁道科学, 2005(2): 20-24.
- [5] 张明安, 蒲传奋, 张岩, 等. 自然冷源在果蔬贮藏保鲜中的应用效果研究[J]. 食品科技, 2010, 35(3): 44-47.
- [6] 张岩, 姜文利, 邵焕霞, 等. 小型热管低温储粮系统的应用试验[J]. 中国粮油学报, 2014, 29(9): 79-81, 86.
- [7] 马一太, 张国莉. 紧迫的氟利昂大气污染问题及其解决措施[J]. 制冷技术, 1990(2): 17-21.
- [8] 王越, 陈东, 刘振义, 等. 国内分离式热管概况与热环研究的小结及展望[J]. 节能技术, 2000, 18(3): 5-6.
- [9] JWO C, TING C, WANG Wei-ru. Efficiency analysis of home refrigerators by replacing hydrocarbon refrigerants[J]. Measurement, 2009, 42(5): 697-701.
- [10] MACLAINE-CROSS I L. Usage and risk of hydrocarbon refrigerants in motor cars for Australia and the United States[J]. International Journal of Refrigeration, 2004, 27(4): 339-345.
- [11] 吴青松, 杨良根. 高新科技全新节能环保空调雪种 HCR-22 碳氢制冷剂的应用分析[J]. 企业技术开发, 2011, 30(6): 11-13.
- [12] 刘金光, 熊旭波, 王世清, 等. 低温热管中无氟制冷剂 HCR-22 的蓄冷效果[J]. 农业工程学报, 2016, 32(19): 268-273.
- [13] 孙国华, 陈国邦. 二级塑料斯特林制冷机的热力设计探讨[J]. 浙江大学学报, 1991, 3(25): 272-283.
- [14] 颜健, 刘妮. 导热塑料管在冷却塔中应用的可行性分析[J]. 制冷与空调, 2008(5): 76-78.
- [15] 田树生, 李建人, 王永冈. 建筑热水塑料管传热系数的探讨[J]. 给水排水, 2008, 31(5): 77-79.
- [16] 陈小平, 陈子煜, 范林, 等. 塑料盘管应用在蓄冰槽上的传热分析[J]. 流体机械, 2004, 32(4): 66-68.
- [17] 张雪东. 塑料管单效溴化锂吸收式制冷机系统设计及传热性能分析[J]. 应用能源技术, 2011(2): 36-39.
- [18] 张雪东. 塑料管单效溴化锂吸收式制冷机理论与实验研究[J]. 制冷, 2009(2): 10-14.
- [19] 吴源, 白成德, 赵海波, 等. 预制保温 PE-RT 管道系统在小区二次热力管网中的使用[J]. 供热制冷, 2016(2): 22-24.
- [20] 修方珑, 张岩, 王世清, 等. 基于热管技术的储粮仓温度特征及其抑虫效果[J]. 农业工程学报, 2013, 29(14): 256-261.
- [21] 李新宇, 熊旭波, 张岩, 等. 热管低温储粮技术对小麦品质的影响[J]. 中国粮油学报, 2015, 30(1): 107-111.
- [22] 张红, 杨峻, 庄骏. 热管节能技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2009: 36-125.
- [23] 刘效洲, 惠世恩, 徐通模, 等. 分离式热管换热器的工作原理及其在电厂余热回收中的应用[J]. 热能动力工程, 2001, 16(4): 375-376, 379-380.
- [24] TING Chenching, LEE Jingnang, CHEN Chienchi. Heat transfer characterizations of heat pipe in comparison with copper pipe[J]. Journal of Heat Transfer, 2009, 131(33): 1-6.
- [25] MOHAMMAD Hamdan, EMAD Elnajjar. Loop heat pipe: Simple thermodynamic[J]. International Journal of Aerospace and Mechanical Engineering, 2010, 2(4): 111-117.
- [26] 朱志昂. 热管自然蓄冷低温储粮探索[J]. 粮食储藏, 2011, 40(1): 51-52.
- [27] 宋庆武, 张岩, 张志伟, 等. 自然冷源贮冷设备的研究开发[J]. 食品科技, 2007(6): 158-161.
- [28] 汤广发, 刘娣, 赵福云, 等. 分离型热管充液率运行边界探讨[J]. 湖南大学学报, 2005, 32(1): 63-68.
- [29] 王一平, 邓林, 朱莉, 等. 铜-R22 分离式热管传热特性的实验研究[J]. 节能技术, 2007(3): 234-236.
- [30] 洪光, 张春辉, 罗晴, 等. 常温小温差下的分离式热管换热器充液率研究[J]. 节能, 2011(1): 24-27, 2.

(上接第 34 页)

- [23] KOBAYASHI K, SANDA K, GUYON C, et al. *In vitro* cytotoxic activity of *Cymbopogon citratus* L. and *Cymbopogon nardus* L. essential oils from Togo[J]. Bangladesh Journal of Pharmacology, 2009, 4: 29-34.
- [24] PAZ LIMA M, SILVA T M D, DA SILVA J D, et al. Essential oil composition of leaf and fine stem of *Aniba canelilla* (Kunth) Mez from Manaus, Brazil[J]. Acta Amazonica, 2004, 34(2): 329-330.
- [25] BAGCI E, BASER K H C. Study of the essential oils of *Thymus haussknechtii* Velen and *Thymus kotschyianus* Boiss. et *Hohen var. kotschyianus* (Lamiaceae) taxa from the eastern Anatolian region in Turkey[J]. Flavour and Fragrance Journal, 2005, 20(2): 199-202.
- [26] SHIMIZU Y, IMAYOSHI Y, KATO M, et al. Volatiles from leaves of field-grown plants and shoot cultures of *Gynura bicolor* DC[J]. Flavour and Fragrance Journal, 2009, 24(5): 251-258.
- [27] CHERCHI G, DEIDDA D, DE GIOANNIS B, et al. Extraction of *Santolina insularis* essential oil by supercritical carbon dioxide: influence of some process parameters and biological activity[J]. Flavour and Fragrance Journal, 2001, 16: 35-43.
- [28] 孙宝国. 食用调香术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2010: 84-85.

(上接第 39 页)

- [27] 杨鲜, 祝慧凤, 王涛, 等. 重庆巫山等多地党参氨基酸及营养价值比较分析[J]. 食品科学, 2014, 35(15): 251-257.
- [28] 彭瑛, 蔡力创. 精氨酸的保健作用及其调控研究进展[J]. 湖南理工学院学报: 自然科学版, 2011, 24(1): 59-62.
- [29] 陈亚军, 齐玉梅. 精氨酸免疫营养作用的研究进展[J]. 中国临床营养杂志, 2007, 15(5): 310-314.
- [30] 王齐, 朱伟伟, 苏丹, 等. 蒲桃中氨基酸组成与含量对其营养与风味的影响[J]. 食品科学, 2012, 33(16): 204-207.
- [31] 钱爱萍, 林虬, 颜孙安, 等. 乌饭树叶蛋白质中氨基酸含量及营养价值评价[J]. 福建农业学报, 2008, 23(3): 306-309.
- [32] SOLMS J. Taste of amino acids, peptides, and proteins[J]. Agricultural and Food Chemistry, 1969, 17(4): 686-688.
- [33] 鲁敏, 安华明, 赵小红. 无籽刺梨与刺梨果实中氨基酸分析[J]. 食品科学, 2015, 36(14): 118-121.
- [34] 蒋滢, 徐颖, 朱庚伯. 人类味觉与氨基酸味道[J]. 氨基酸和生物资源, 2002, 24(4): 1-3.