

72 份青稞氨基酸组成与营养价值评价

翟会生¹, 李 俏¹, 张玉红^{2,3}, 曾兴权^{2,3}, 唐亚伟^{2,3}, 尼玛扎西^{2,3},
邓光兵¹, 龙 海¹, 潘志芬¹, 余懋群¹

(¹中国科学院成都生物研究所, 成都 610041; ²西藏自治区农牧科学院, 拉萨 850002;

³西藏自治区青稞种质改良和牦牛繁育重点实验室, 拉萨 850002)

摘要: 为了解青稞氨基酸的组成及营养品质, 本研究测定了 72 份青稞材料籽粒的 17 种氨基酸(色氨酸除外)含量, 通过对供试青稞材料氨基酸含量进行聚类分析, 并比较育成品种与地方品种的氨基酸组成差异, 对青稞的氨基酸进行了营养价值评价。结果表明, 青稞氨基酸总含量平均为 87.454 mg/g DW, 变幅为 47.8~178.7 mg/g DW, 其中必需氨基酸含量占 37.15%, 谷氨酸的含量最高且变异大, 蛋氨酸含量最低, 赖氨酸含量变异小, 91.67% 的青稞材料的第一限制性氨基酸为赖氨酸。青稞氨基酸的贴近度为 0.903, 与世界粮农组织(FAO)、世界卫生组织(WHO)、联合国大学(UNU)提出的模式蛋白质的必需氨基酸组成较接近, 氨基酸比值系数分 SRC(73.14)较高。非必需氨基酸占青稞总氨基酸含量的 62.85%, 其中鲜味和甜味氨基酸含量分别为 26.58 mg/g DW 和 21.85 mg/g DW, 分别占总氨基酸含量的 30.04% 和 24.43%。不同青稞材料的氨基酸含量和营养价值有很大的差异, 地方品种各氨基酸含量均高于育成品种。供试材料中有 4 份青稞的氨基酸营养价值及风味氨基酸含量均较高。研究结果可为优质氨基酸组成的青稞选育及青稞加工提供指导。

关键词: 青稞; 氨基酸; 营养品质

Evaluation of the Amino Acids Composition and Nutrition Value of 72 Hulless Barley

ZHAI Hui-sheng¹, LI Qiao¹, ZHANG Yu-hong^{2,3}, ZENG Xing-quan^{2,3}, TANG Ya-wei^{2,3},
NYIMA Tashi^{2,3}, DENG Guang-bing¹, LONG Hai¹, PAN Zhi-fen¹, YU Mao-qun¹

(¹Chengdu Institute of Biology, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610041; ²Tibet Academy of Agriculture and Animal Sciences, Lhasa 850032; ³Barley Improvement and Yak Breeding Key Laboratory of Tibet Autonomous Region, Lhasa 850002)

Abstract: In order to make better use of Tibetan hulless barley, the content of 17 amino acids (except tryptophan) for 72 hulless barley accessions was determined, and the nutritional value and flavor of amino acids was evaluated by WHO/FAO/UNU model. The cluster analysis was performed using the amino acid composition, and the difference of nutrition between landraces and modern varieties was surveyed. The total content of amino acids in hulless barley was 87.454 mg/g DW, with a range from 47.8 to 178.7 mg/g DW. The indispensable amino acid accounted for 37.15%, which was higher than that of oat, hulled barley and wheat. The Tibetan hulless barley exhibited the highest content (23.27%) of glutamine with large variation ($CV=33\%$), and the lowest methionine (1.75%). The composition of amino acids in Tibetan hulless barley was similar to that in hulled barley and wheat. The Tibetan hulless barley had higher content of lysine compared with other cereal crop grains. The close

收稿日期: 2020-04-03 修回日期: 2020-10-13 网络出版日期: 2019-03-26

URL: <http://doi.org/10.13430/j.cnki.jpgr.20190102002>

第一作者研究方向为青稞品质评价及加工, Email: 347412296@qq.com

通信作者: 潘志芬, 研究方向为麦类作物品质遗传改良与利用, Email: panzf@cib.ac.cn

基金项目: 省部共建青稞和牦牛种质资源与遗传改良国家重点实验室开放课题(XZNKY-2020-C-007K03); 中国科学院“西部之光”人才培养计划项目(Y6C401); 西藏科技厅青稞分子育种重大专项(XZ2018B01NA01)

Foundation projects: The Open Project Program of State Key Laboratory of Barley and Yak Germplasm Resources and Genetic Improvement, Tibet Academy of Agriculture and Animal Sciences(XZNKY-2020-C-007K03), Chinese Academy of Sciences ‘Light of West China’ Program(Y6C401), Major Special Project of Highland Barley Breeding of Tibet Science and Technology Department(XZ2018B01NA01)

degree U of hulless barley was 0.903, and 69.44% of the tested accessions was more than 0.900. That indicated that the composition of indispensable amino acid of Tibetan hulless barley were close to the model protein and thus had higher nutritional value. The Tibetan hulless barley genotypes presented broad variation on the sum of dispensable amino acids (28.7-118 mg/g DW), with the average of 55.785 mg/g DW. The content of amino acid contributing freshness was 26.58 mg/g DW and that for sweetness was 21.85 mg/g DW. For nutrient balance, hulless barley was higher among cereal crops, the value of Score of Ratio Coefficient was 73.14. The content of amino acids in landraces/historic varieties was higher than that of improved varieties. Notably, four accessions were identified with the qualified nutritional value and flavor amino acid content. Thus, by unlocking the content of amino acids in hulless barley accessions, this study provided valuable insights to select elite genotypes in breeding for high-quality food hulless barley varieties.

Key words: hulless barley; amino acids; nutritional quality

大麦从形态上可分为皮大麦和裸大麦,裸大麦 (*Hordeum vulgare* L. var. nudum Hook. f.) 的籽粒内外稃与颖果易分离^[1]。青稞是我国藏区对裸大麦的统称,被该区域广泛应用于食品与饲料,同时对我国藏民族特色文化有着重要的影响,为藏区人民的健康和经济发挥重要作用^[2-3]。青稞富含 β -葡聚糖^[4]、总黄酮^[5]等多种健康因子,具有降血脂、降血糖等多种保健功能,近年来受到了越来越多的关注^[6]。随着现代科技的发展及人们对青稞保健功能的认可,青稞正被广泛应用于酿酒、各种大众化食品和保健食品的开发^[7-8],青稞的利用正呈现多领域、多样化和多功能的特点。选育各具特色的专用青稞有助于推动青稞的高价值利用和产业化发展,为我国藏区的社会稳定和粮食安全做出积极的贡献。

蛋白质作为青稞籽粒中的第二大组分,其含量(范围为6.35%~23.4%)^[8]仅次于淀粉,对青稞产品的营养、风味及加工工艺有着重要影响。蛋白质营养价值的高低,不仅取决于其含量,更取决于蛋白质的氨基酸组成,包括氨基酸的种类、数量及构成比例。某种氨基酸不足或过剩都限制蛋白质的营养价值,与机体合成蛋白质所需的各种氨基酸的量及其组成越接近,则机体利用率愈高。目前对小麦、水稻等作物氨基酸组成及营养评价的研究较多,对于大麦研究较少;国外主要集中于大麦作为饲料时氨基酸的消化性研究^[9],国内对青稞氨基酸含量与组成已有部分研究^[10-12],张璐等^[11]研究发现阿坝州大骨节非病区与病区共25份青稞的蛋白质营养价值有差异,病区青稞蛋白质营养价值低,高比例的青稞摄入可能导致体内缺乏含硫氨基酸和赖氨酸,白羿熊等^[10]对青稞品种昆仑14号进行水分亏缺处理,发现其可以显著提高青稞籽粒中的蛋白质、必需氨基酸、非必需氨基酸和氨基酸含量,这表明环境因素可能对青稞氨基酸的含量及组成有较大影响。因此,本研究选取了蛋白质含

量差异较大的青稞育成及地方品种共72份,通过测定氨基酸含量,对不同青稞材料的氨基酸进行营养评价及风味氨基酸含量分析,以期筛选氨基酸营养价值和风味氨基酸含量均较高的青稞,为优质专用青稞新品种的培育及青稞食品加工提供指导。

1 材料与方法

1.1 供试材料

供试青稞共72份,其中地方品种55份,育成品种17份,均由西藏农牧科学院提供。2017年供试材料种植于西藏拉萨试验地,随机区组设计,每份材料种植3个小区,收获时每份材料3个小区混收。青稞全麦粉为实验室自制,过100目筛。

1.2 氨基酸含量的测定

根据GB/T 5009.124—2003^[12]方法,采用日立L-8900氨基酸自动分析仪测定青稞的17种氨基酸(除色氨酸)和总氨基酸含量(mg/g DW)。计算贴适度 $U(a, u_i)$ 、氨基酸评分(AAS)、氨基酸比值系数(RC)、氨基酸比值系数分(SRC)。

根据兰氏距离法^[13]计算样品的贴适度 $U(a, u_i)$,计算公式如下:

$$U(a, u_i) = 1 - 0.09 \times \sum_{k=1}^7 \frac{|a_k - u_{ik}|}{a_k + u_{ik}} \quad (1)$$

式中: a_k 为标准蛋白模式的第 k 种IAA含量, $1 \leq k \leq 7$; u_{ik} 为 i 个评价对象的第 k 种IAA含量, $1 \leq k \leq 7$ 。

氨基酸评分(AAS)的计算如下^[14]:

$$AAS_i = \frac{\text{被测食物蛋白质每克氮或} \\ \text{蛋白质的氨基酸含量/mg}}{\text{模式蛋白质每克氮或} \\ \text{蛋白质氨基酸含量/mg}} \quad (2)$$

式中:AAS_{*i*}为被测食物蛋白质中的第 i 种IAA评分值, $1 \leq i \leq 7$;模式蛋白质一般采用FAO/WHO/

UNU 模式或全鸡蛋蛋白模式^[15]。

氨基酸比值系数 (RC) 计算参照:

$$RC_i = \frac{AAS_i}{AAS} \quad (3)$$

式中: RC_i 为被测食物蛋白质中的第 i 种 IAA 的比值系数, $1 \leq i \leq 7$; AAS_i 为被测食物蛋白的第 i 种 IAA 评分值, $1 \leq i \leq 7$; AAS 为被测食物蛋白中的第 i 种 IAA 评分值的均值, $1 \leq i \leq 7$ 。

氨基酸比值系数分 (SRC) 参照:

$$SRC = 100 - 100 \times \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (RC_i - \overline{RC})^2}}{\overline{RC}} \quad (4)$$

式中: RC_i 为被测食物蛋白质中的第 i 种 IAA 的比值系数, $1 \leq i \leq 7$; \overline{RC} 为被测食物蛋白质中的各比值系数的均值; n 为被测食物蛋白质中 IAA 的数量。

1.3 统计分析

采用 Excel 2010 进行数据处理, 运用 SPSS 22.0 和 SAS 软件进行系统聚类分析和显著性差异分析, 并进行方差分析, 使用 LSD 法进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 青稞氨基酸组成

如表 1 所示, 72 份青稞材料的总氨基酸含量的均值为 87.454 mg/g DW, 其中必需氨基酸 (IAA, Indispensable amino acid) 占总氨基酸的 37.15%, 其中有 50 份青稞的必需氨基酸含量占总氨基酸的百分比高于 36%, 其范围为 36.05%~39.12%, 符合 WHO-UN 标准, 蛋白质质量较高。不同的青稞材料的总氨基酸含量和各组成氨基酸的含量差异都很大, 总氨基酸含量最大相差近 4 倍。就 17 种氨基酸而言, 平均含量最高的为谷氨酸 (20.71 mg/g DW), 占总氨基酸含量 23.27%, 其次为脯氨酸、亮氨酸、天冬氨酸, 含量最低的为蛋氨酸 (1.52 mg/g DW), 仅占总氨基酸含量的 1.75%。在供试青稞材料中, 谷氨酸的含量变异系数最大 ($CV=33\%$), 最小的为赖氨酸 ($CV=16\%$)。

2.2 青稞氨基酸营养评价

对食物蛋白质营养价值评价通常通过对必需氨基酸的贴适度 $U(a, \mu_i)$ 、氨基酸评分 (AAS)、氨基酸比值系数 (RC)、氨基酸比值系数分 (SRC) 等指标进行评价。贴适度 $U(a, \mu_i)$ ^[13] 可反映样品与模式蛋白的必需氨基酸组成的接近程度, 其越接近

表 1 72 份青稞材料的氨基酸组成

Table 1 The composition of amino acids composition in 72 Tibetan hulless barley accessions

氨基酸 Amino acids	平均含量 (mg/g DW) Mean	变幅 (mg/g DW) Range	百分比 (%) Percentage	变异系数 (%) CV
※ 亮氨酸 Leu	6.32	3.4~12.3	7.23	22
※ 苯丙氨酸 Phe	4.66	2.7~9.7	5.31	26
※ 缬氨酸 Val	4.66	3.0~8.1	5.38	18
※ 赖氨酸 Lys	3.64	2.6~6.1	4.23	16
※ 苏氨酸 Thr	3.26	2.0~5.6	3.76	18
※ 异亮氨酸 Ile	3.05	1.4~6.3	3.48	25
※ 酪氨酸 Tyr	2.77	1.7~5.5	3.16	25
※ 半胱氨酸 Cys	1.80	0.5~2.8	2.08	32
※ 蛋氨酸 Met	1.52	0.5~2.8	1.75	28
谷氨酸 Glu	20.71	4.9~52	23.27	33
天冬氨酸 Asp	5.87	3.8~11.4	6.78	19
脯氨酸 Pro	9.73	6.4~21.2	11.04	29
甘氨酸 Gly	3.95	2.1~6.6	4.56	18
丙氨酸 Ala	4.23	3.0~7.5	4.9	17
丝氨酸 Ser	3.95	2.4~7.4	4.54	20
精氨酸 Arg	5.26	3.9~9.8	6.25	18
组氨酸 His	2.08	1.3~3.9	2.49	21
必需氨基酸之和 Σ IAA	31.668	19.1~60.6	37.15	21
非必需氨基酸之和 Σ DAA	55.785	28.7~118	62.85	24
总氨基酸之和 Σ AA	87.454	47.8~178.7	-	23

※: 必需氨基酸

※: indispensable amino acids, Σ IAA means the sum of indispensable amino acids, Σ DAA means the dispensable amino acids, Σ AA means the sum of amino acids

于 1, 蛋白质营养价值相对越高^[16]。氨基酸评分 (AAS) 也称氨基酸比值, 是指样品中氨基酸的含量与模式蛋白中的氨基酸的含量的比值^[14]。氨基酸比值系数 (RC) 可以反映食物中氨基酸组成含量与模式氨基酸的偏离程度, 若某种必需氨基酸的 RC 值大于 1, 则表示该必需氨基酸含量相对过剩; 若小于 1, 则表明该必需氨基酸含量相对不足。RC 最小值为该食物中的第一限制性氨基酸^[14]。氨基酸比值系数分 (SRC) 表示食物蛋白质的相对营养价值, SRC 值越接近于 100, 表明必需氨基酸 (IAA) 在

氨基酸生理平衡方面所做的贡献越大,营养价值更高^[14]。

2.2.1 青稞必需氨基酸组成与模式蛋白的氨基酸组成比较 从贴近度、氨基酸比值系数、氨基酸比值系数分3个指标对供试青稞的必需氨基酸的营养价值

进行了评价。青稞与WHO/FAO/UNU模式蛋白贴近度均值 U 为0.903(表2),变幅为0.763~0.963,除3份材料(库龙黄、六棱裸大麦、山南紫)贴近度小于0.800,其余青稞材料的贴近度均大于0.800,其中69.44%的材料的贴近度均大于0.900。

表2 72份青稞必需氨基酸营养价值

Table 2 The nutrition value of indispensable amino acids in 72 Tibetan hulless barley accessions

分类 Type	材料 Accession	氨基酸比值系数 RC							氨基酸比值 系数分 SRC	贴近度 U (a, u_i)
		异亮氨酸 Ile	亮氨酸 Leu	赖氨酸 Lys	蛋氨酸+ 半胱氨酸 Met+Cys	苯丙氨酸+ 酪氨酸 Phe+Tyr	苏氨酸 Thr	缬氨酸 Val		
I	库龙黄	0.98	0.94	0.55	1.00	1.59	1.00	0.93	69.26	0.791
	六棱裸大麦	0.96	0.94	0.50	1.06	1.61	1.02	0.91	67.25	0.763
	山南紫	0.94	0.91	0.67	0.94	1.55	1.06	0.94	73.07	0.763
	紫光芒稞二棱	0.84	0.88	0.61	1.26	1.40	1.07	0.93	73.26	0.808
II	ZYM0083	0.86	0.90	0.68	1.07	1.32	1.11	1.07	79.25	0.947
	黑色野青稞	0.80	0.87	0.70	1.11	1.26	1.15	1.11	79.06	0.928
	ZYM0762	0.80	0.87	0.66	1.12	1.29	1.12	1.14	77.66	0.931
	ZYM0439	0.85	0.92	0.69	1.06	1.42	1.06	1.00	77.31	0.925
	喜马拉雅10号	0.87	0.89	0.65	1.21	1.29	1.12	0.96	77.65	0.922
III	紫青稞	0.81	0.87	0.65	1.29	1.34	1.04	1.00	74.91	0.917
	黄青稞	0.88	0.88	0.62	1.20	1.39	1.08	0.94	74.87	0.914
	正六棱青稞	0.89	0.89	0.62	1.16	1.38	1.12	0.95	75.53	0.921
	藏青320	0.91	0.91	0.59	1.12	1.38	1.11	0.99	75.80	0.920
	拉罗白兰	0.80	0.88	0.64	1.14	1.27	1.13	1.14	77.30	0.905
	野生青稞	0.83	0.89	0.65	1.16	1.37	1.05	1.05	76.37	0.911
	二芒紫	0.88	0.88	0.65	1.09	1.41	1.05	1.03	76.52	0.915
	昆仑1号	0.69	0.82	0.79	1.05	1.45	1.12	1.08	74.01	0.874
	藏青7239	0.83	0.89	0.76	0.76	1.48	1.18	1.12	73.08	0.880
	喜马拉雅16号	0.87	0.88	0.60	1.20	1.42	1.09	0.94	73.52	0.881
	宽颖裸麦	0.87	0.90	0.61	1.18	1.35	1.14	0.95	75.53	0.879
	花叉	0.83	0.87	0.62	1.15	1.32	1.08	1.14	76.28	0.872
	长毛青稞	0.88	0.88	0.62	1.19	1.35	1.12	0.96	75.80	0.890
	绿青稞	0.86	0.88	0.63	1.21	1.39	1.10	0.94	74.57	0.888
	ZYM0850	0.88	0.96	0.72	0.66	1.53	1.14	1.11	70.35	0.930
	四国裸87号	0.90	0.87	0.60	1.20	1.40	1.06	0.97	74.55	0.940
	黑四棱	0.87	0.91	0.64	1.11	1.45	1.03	0.99	75.28	0.930
	兰青稞	0.83	0.88	0.60	1.17	1.32	1.09	1.11	75.65	0.932
	姆兰白	0.87	0.85	0.61	1.36	1.35	1.03	0.93	72.60	0.936
	喜马拉雅22号	0.84	0.85	0.63	1.38	1.32	1.05	0.93	72.79	0.933
ZYM0733	0.85	0.87	0.60	1.32	1.36	1.05	0.94	72.88	0.931	
苟芒青稞	0.82	0.87	0.64	1.27	1.40	0.98	1.01	73.73	0.925	
林芝黑六棱	0.83	0.85	0.63	1.33	1.31	1.10	0.96	73.95	0.931	
藏青80	0.81	0.83	0.65	1.34	1.31	1.08	0.97	74.08	0.928	
编号10	0.86	0.84	0.62	1.41	1.25	1.07	0.95	73.33	0.934	
白正六棱	0.85	0.85	0.63	1.29	1.36	1.07	0.95	73.97	0.935	

表 2(续)

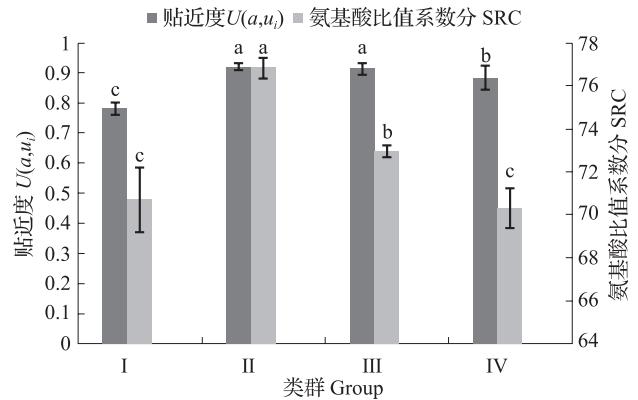
分类 Type	材料 Accession	氨基酸比值系数 RC							氨基酸比值 系数分 SRC	贴适度 U (a, u_i)
		异亮氨酸 Ile	亮氨酸 Leu	赖氨酸 Lys	蛋氨酸+ 半胱氨酸 Met+Cys	苯丙氨酸+ 酪氨酸 Phe+Tyr	苏氨酸 Thr	缬氨酸 Val		
	1128	0.90	0.90	0.60	1.10	1.46	1.09	0.94	73.59	0.939
	藏强青稞	0.90	0.90	0.59	1.18	1.43	1.04	0.95	73.80	0.938
	ZYM1852	0.85	0.85	0.56	1.40	1.40	1.04	0.91	69.24	0.928
	日农 6 号	0.85	0.89	0.69	0.90	1.61	1.11	0.94	70.15	0.925
	ZYM2814	0.89	0.96	0.71	0.69	1.52	1.14	1.09	71.48	0.933
	半野生六棱大麦 1	0.84	0.86	0.61	1.35	1.33	1.07	0.94	72.89	0.924
	变芒紫六棱	0.90	0.95	0.72	0.66	1.55	1.11	1.12	69.89	0.931
	吉隆青稞	0.84	0.85	0.59	1.39	1.33	1.06	0.95	71.60	0.931
	变芒白	0.82	0.88	0.59	1.24	1.46	1.10	0.91	71.02	0.930
	藏青 2000	0.98	0.94	0.60	0.89	1.45	1.10	1.04	74.54	0.943
	1127	0.89	0.88	0.58	1.19	1.48	1.06	0.92	71.77	0.920
	二季青稞	0.87	0.86	0.59	1.33	1.38	1.04	0.93	72.33	0.921
	ZYM1099	0.86	0.83	0.59	1.39	1.35	1.02	0.95	71.23	0.910
	拉萨白青稞	0.90	0.95	0.62	0.96	1.59	1.01	0.97	71.04	0.903
	喜马拉雅 19 号	0.87	0.93	0.72	0.72	1.53	1.13	1.09	71.63	0.896
	北青 5 号	0.86	0.87	0.58	1.28	1.37	1.11	0.93	72.57	0.892
	金大青稞	0.90	0.90	0.58	1.13	1.47	1.09	0.93	72.57	0.891
	兰六棱	0.86	0.86	0.58	1.36	1.36	1.02	0.96	71.77	0.889
	杂金	0.86	0.86	0.58	1.29	1.41	1.05	0.94	72.00	0.893
	藏青 25	0.81	0.92	0.72	0.72	1.64	1.12	1.08	67.86	0.925
	扁穗灰	0.87	0.87	0.59	1.24	1.42	1.06	0.95	72.80	0.922
	半野生六棱大麦 2	0.86	0.86	0.60	1.30	1.37	1.05	0.95	73.11	0.915
	白紫青稞	0.83	0.85	0.60	1.31	1.36	1.09	0.94	72.62	0.914
	北青 3 号	0.82	0.87	0.63	1.32	1.38	1.01	0.98	73.13	0.903
	黑青稞	0.87	0.89	0.61	1.31	1.34	0.99	0.99	74.24	0.911
	阳珠阳笋	0.94	0.88	0.58	1.08	1.42	1.04	1.07	74.45	0.914
	长芒黑青稞	0.88	0.89	0.62	1.14	1.42	1.10	0.94	74.81	0.909
	白青稞	0.84	0.87	0.63	1.27	1.38	1.03	0.99	74.46	0.906
IV	拉屯白	0.94	0.92	0.55	1.09	1.51	1.05	0.93	71.37	0.839
	拉萨长穗麦	0.92	0.91	0.56	1.13	1.50	1.04	0.94	71.88	0.840
	喜马拉雅 14 号	0.89	0.88	0.58	1.25	1.41	1.05	0.94	72.94	0.963
	尼那紫	0.92	0.89	0.57	1.18	1.47	1.03	0.95	72.52	0.856
	Hiproly	0.87	0.95	0.75	0.64	1.50	1.19	1.11	70.76	0.862
	阳珠阳笋 1	0.88	0.86	0.57	1.08	1.53	1.04	1.05	70.84	0.870
	穷结查久	0.90	0.92	0.61	0.88	1.74	1.01	0.94	64.82	0.879
	WDM03169	0.85	0.88	0.78	0.84	1.60	1.11	0.94	71.41	0.917
	喜马拉雅 13 号	0.94	0.98	0.68	0.58	1.62	1.12	1.08	66.26	0.928
	平均值 Mean	0.87	0.89	0.63	1.13	1.42	1.07	0.99	73.14	0.903
	变幅 Range	0.69~0.98	0.82~0.98	0.50~0.79	0.58~1.41	1.25~1.74	0.98~1.19	0.91~1.14	64.82~79.25	0.763~0.963
	变异系数 (%) CV	5	4	9	18	7	4	7	4	4

从表2的RC值看,青稞中的必需氨基酸苏氨酸和缬氨酸的含量与模式蛋白组成较一致,而蛋氨酸+半胱氨酸及苯丙氨酸+酪氨酸的含量较高,亮氨酸、异亮氨酸含量则略显不足,赖氨酸为第一限制性氨基酸。不同材料间及不同的氨基酸的RC值有很大的差异,其中蛋氨酸+半胱氨酸在材料间呈现的差异最大,其RC值的变幅为0.58~1.41。从RC值看,91.67%的青稞材料的第一限制性氨基酸为赖氨酸,但有一些材料的第一限制性氨基酸为其他氨基酸,如昆仑1号的第一限制性氨基酸为异亮氨酸, Hiproly、ZYM0850、ZYM2814、变芒紫六棱和喜马拉雅13号等5份材料的第一限制性氨基酸为蛋氨酸和半胱氨酸。青稞必需氨基酸的SRC均值为73.14,变幅为64.82~79.25,营养均衡性差异较大。

2.2.2 基于青稞必需氨基酸营养指标的聚类分析
 基于RC、SRC和贴适度对72份青稞进行聚类,其主要分为4个类群(表2)。

图1所示,类群I的贴适度最低(0.781),SRC值相对较低(70.71),说明类群I必需氨基酸组成与模式蛋白差异最大,营养均衡性较差;类群II的贴适度(0.921)和SRC(76.85)在所有类群中最高,与模式蛋白组成最接近,营养均衡性最好;类群III包含的材料最多(47份),贴适度(0.915)和SRC(72.95)略低于类群II;类群IV SRC值和贴适度均显著低于类群II、III,类群IV贴适度(0.884)较低, SRC(70.31)最低,营养均衡性最差。

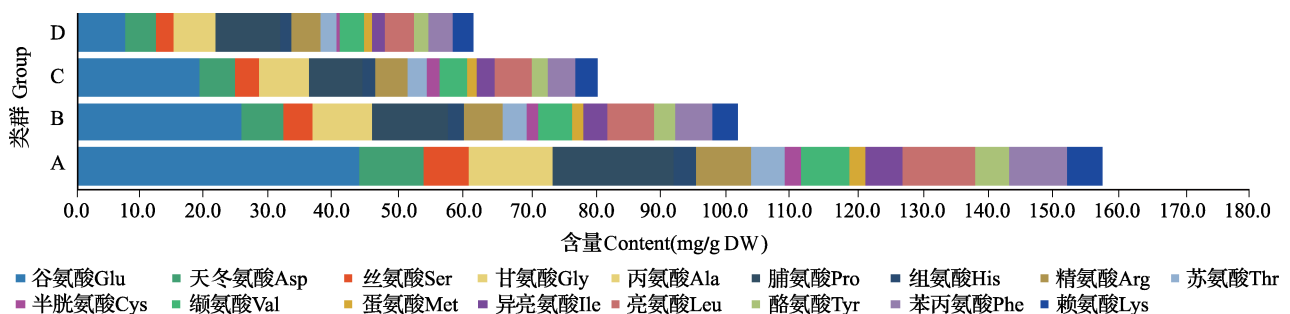
2.2.3 青稞非必需氨基酸风味与功能评价 青稞的非必需氨基酸总含量的均值为55.785 mg/g DW,占青稞总氨基酸含量的62.85%,而且不同青稞材料



a, b, c 不同字母表示差异显著 ($P<0.05$)
 a, b, c different letters indicate that difference were significantly ($P<0.05$)

图1 72份青稞氨基酸营养指标
 Fig.1 The nutritional index of amino acids for different group of 72 Tibetan hulless barley

间非必需氨基酸含量之和差异较大(28.7~118 mg/g DW)(表1)。谷氨酸和天冬氨酸为鲜味氨基酸,而脯氨酸、丙氨酸、甘氨酸、丝氨酸等为甜味氨基酸^[17]。青稞中鲜味和甜味氨基酸含量均值分别为26.58 mg/g DW和21.85 mg/g DW,分别占总氨基酸含量的30.04%和24.43%。基于所有氨基酸含量对青稞材料聚类分析,分为A、B、C、D4类,各类群的氨基酸组成和含量如图2。各类群按总氨基酸含量、鲜味氨基酸及甜味氨基酸(mg/g DW)高低排序均为:A>B>C>D。类群之间各鲜味氨基酸和总氨基酸含量差异显著($P<0.05$),而甜味氨基酸中除了类群C和D的丙氨酸,类群B和D、C和D的脯氨酸含量差异不显著外,其他类群的各甜味氨基酸含量均差异显著($P<0.05$)。



A类: 3份青稞,库龙黄、六棱裸大麦、山南紫; B类: 尼那紫、拉萨长穗麦、拉屯白等18份青稞;

C类: 黑色野青稞、藏青80、ZYM0762等47份青稞; D类: WDM03169、藏青25、昆仑1号等4份青稞

Group A: Kulonghuang, Liulengludamai, Shannanzi, Group B: contains 18 hulless barley, such as Ninazi, Lasachangsuimai,

Latunbai, Group C: contains 47 hulless barley, such as Heiseyqingke, Zangqing 80, ZYM0762,

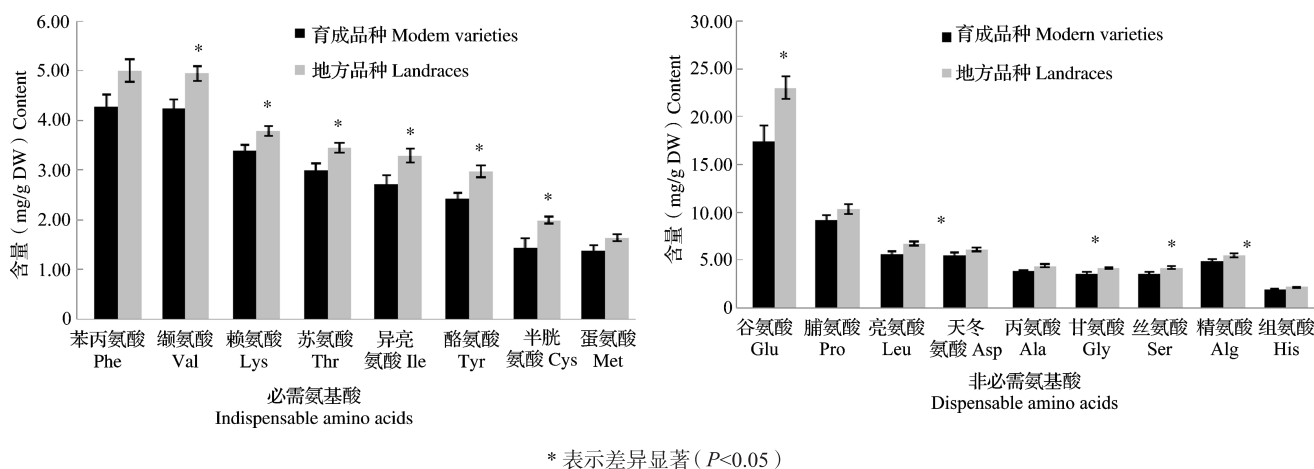
Group D: includes 4 hulless barley, such as WDM03169, Zangqing 25, Kunlun 1

图2 不同类群的氨基酸组成与含量

Fig.2 Amino acid composition and content among the groups

2.2.4 地方与育成品种的氨基酸差异比较 除了天冬氨酸、脯氨酸、苯丙氨酸、精氨酸、组氨酸、蛋氨酸, 地方品种各氨基酸含量均显著高于育成品种(图 3)。据 WHO-UN 标准, 高质量的蛋白质其必需氨基酸与氨基酸总量的百分比在 36% 以上^[11], 青稞必需氨基酸含量占总氨基酸的 37.15%, 表明西藏青稞蛋白质质量较高。其中藏青 320 为育成品种, 总氨基酸含量为 91.1 mg/g DW, 大于供试青稞材料总氨基酸的平均含量(87.454 mg/g DW), 除丙氨酸、半胱氨酸、酪氨酸、赖氨酸、精氨酸外, 其余氨基酸含量均高于相对应的平均含量, 其中, 天冬氨酸(6.6 mg/g DW)、谷氨酸(22.7 mg/g DW)、脯氨酸(10.5 mg/g DW)、甘氨酸(4.0 mg/g DW)、丝氨酸(4.1 mg/g DW)均较高, 丙氨酸(4.1 mg/g DW)略小

于平均含量(4.23 mg/g DW), 这 6 种氨基酸属于鲜味和甜味氨基酸^[17], 在加工应用中, 藏青 320 可作为鲜味与甜味氨基酸的原材料。拉罗白兰、野生青稞、二芒紫为地方品种, 二芒紫青稞的组氨酸含量(2.1 mg/g DW), 野生青稞的半胱氨酸(4.8 mg/g DW)、赖氨酸含量(3.7 mg/g DW), 拉罗白兰的缬氨酸含量(5.2 mg/g DW)均远远高于相对应氨基酸的平均含量, 可满足高含量氨基酸育种要求。而从 RC 值, SRC 和贴适度来看, 这 4 份材料的第一限制性氨基酸均为赖氨酸, 藏青 320 的赖氨酸 RC 值为 0.59, 低于供试青稞的赖氨酸的 RC 值均值, 4 份青稞的 SRC 值均大于 75.00, 贴适度均大于 0.900, 贴适度与 SRC 值与模式蛋白最接近, 营养均衡性最好。因此, 这为青稞加工和育种提供了优质的青稞原材料。



* 表示差异显著 ($P < 0.05$)

* indicates the significance of the difference ($P < 0.05$)

图 3 地方与育成品种中部分氨基酸的含量比较

Fig.3 The comparison of amino acids content between landraces and improved varieties

3 讨论

3.1 青稞与其他谷物的氨基酸组成差异

常见的谷类作物中, 燕麦的蛋白质含量最高, 通常大于 15%^[18], 其次为大麦(12.4%)^[7]和小麦(11%)^[19-20], 水稻(9%)^[21]及玉米(7%)的蛋白质含量较低^[22-23], 供试青稞蛋白质含量为 9.49%, 高于水稻和玉米。总氨基酸含量(mg/g DW)差异与蛋白质的含量差异的趋势几乎一致: 燕麦(129.15) > 小麦(116.54) > 大麦(106.41) > 水稻(89.77) > 青稞(87.45) > 玉米(62.85)^[18-25]。本研究 72 份青稞中的必需氨基酸占总氨基酸的 37.15%, 低于玉米(43%)和 水稻(40%), 但高于燕麦(34%)、大麦(33%)、小麦(32%), 且更符合 WHO/FAO/UNU 标准(40%)^[18-25]。

赖氨酸是禾谷类作物的第一限制性氨基酸^[23, 25]。

水稻作为我国第一大粮食作物, 水稻材料间赖氨酸含量差异小, 难以通过杂交选育高赖氨酸含量品种, 而且赖氨酸含量通常与垩白、米饭变软、产量低等不良性状连锁^[26-27], 培育高赖氨酸含量的优质品种是难以攻克的难题。本研究同样也发现, 青稞所有氨基酸中赖氨酸含量变幅最小, 利用现有青稞资源进行高赖氨酸含量青稞品种选育具有一定的限制。但是, 青稞(39.6 mg/g pro)和燕麦(40.61 mg/g pro)赖氨酸的含量高于水稻(31.1 mg/g pro)、小麦(33.8 mg/g pro)和玉米(2.30 mg/g pro)^[18, 22, 24]。本研究还发现, 青稞氨基酸组成与 WHO/FAO/UNU 模式蛋白的贴适度均值为 0.903, 高于蚕豆(0.891)、小麦(0.896)、豌豆(0.878)、高粱(0.849)、水稻(0.835)^[28-30], 表明青稞的蛋白中必需氨基酸组成

相对于其他作物更接近于 WHO/FAO/UNU 模式蛋白。青稞的必需氨基酸营养均衡性 (SRC=73.14) 优于水稻 (SRC=70.50)、小麦 (SRC=72.47)、玉米 (SRC=55.14) 和土豆 (SRC=69.05)^[13], 其中约三分之一的青稞材料的 SRC 值 >90, 表明青稞必需氨基酸营养均衡性在谷类作物中较好。综合来看, 青稞的总蛋白含量和氨基酸含量在谷物中不是很高, 但其营养均衡性好, 是一种优质谷物蛋白源。

3.2 不同青稞的氨基酸组成与营养价值差异

本研究搜集了来自青藏高原的 72 份青稞材料, 发现不同青稞的氨基酸组成及营养价值差异较大, 其中 4 份材料 (库龙黄、六棱裸大麦、山南紫、紫光芒裸二棱) 的各氨基酸含量均远高于其他材料, 且高出模式蛋白 2~3 倍, 但类群 I 中的 4 份材料的氨基酸的贴适度最低 (0.781), SRC 值也相对较低, 氨基酸营养均衡性较差, 人类或动物食用后难以消化吸收。然而, 这 4 份材料的天冬氨酸、谷氨酸、甘氨酸、蛋氨酸、亮氨酸、苯丙氨酸、赖氨酸、酪氨酸、精氨酸和组氨酸含量均远高于其他青稞品种, 且相对于目前赖氨酸作为大麦等多种谷类作物第一限制性氨基酸难以改变的现状^[1], 这些材料可用作高赖氨酸含量以及高含量天冬氨酸、谷氨酸、甘氨酸、蛋氨酸、亮氨酸、苯丙氨酸、赖氨酸、酪氨酸、精氨酸和组氨酸的优质青稞培育的首选材料。

此外, 本研究发现育成品种各氨基酸平均含量均低于地方品种, 氨基酸含量最高的聚类群 A 不包含育成品种, 而氨基酸含量最低的聚类群 D 中的 4 份材料中有 3 份为育成品种。已有研究报道, 禾本科作物如小麦的育成品种相对地方品种的赖氨酸含量降低^[31]。这可能是与高产量的作物育种目标相关, 因为与产量相关的一些性状 (如千粒重) 通常与蛋白质含量呈负相关^[32], 从而导致在长期的驯化及品种培育过程中, 各氨基酸含量呈逐渐下降的趋势。而氨基酸含量最低的聚类群 D 中的育成品种藏青 25 是近来培育的高 β -葡聚糖品种 (8.62%)^[33], β -葡聚糖和蛋白质均为籽粒中含量较多的两种碳源物质, 其低氨基酸含量的特性可能与碳源物质分配竞争有关。

参考文献

- [1] 徐菲, 党斌, 杨希娟, 吴昆仑, 迟德钊. 不同青稞品种的营养品质评价. 麦类作物学报, 2016, 36(9): 1249-1257
Xu F, Dang B, Yang X J, Wu K L, Chi D Z. Evaluation of nutritional quality of different hull-less barley. Journal of Triticeae Crops, 2016, 36(9): 1249-1257
- [2] 潘志芬, 唐亚伟, 吴芳, 韩兆雪, 邓光兵, 余懋群. 青藏高原青

稞 B 组醇溶蛋白遗传多样性研究. 应用与环境生物学报, 2006, 12(5): 601-604

Pan Z F, Tang Y W, Wu F, Han Z X, Deng G B, Yu M Q. Genetic diversity of B2-hordein in hull-less barley (*Hordeum vulgare* L.) from the Qinghai - Tibet Plateau in china. Chinese Journal Applied and Environmental Biology, 2006, 12(5): 601-604

- [3] Li Q, Pan Z F, Deng G B, Long H, Li Z Y, Deng X Q, Liang J J, Tang Y W, Zeng X Q, Nyima Tashi, Yu M Q. Effect of wide variation of the *Waxy* gene on starch properties in hull-less barley from Qinghai-Tibet plateau in China. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 2014, 62(47): 11369-11385
- [4] Holtekjøl A K, Uhlen A K, Bråthen E, Sahlstrøm S, Knutesen S H. Contents of starch and non-starch polysaccharides in barley varieties of different origin. Food Chemistry, 2006, 94(3): 348-358
- [5] 杨涛, 闵康, 曾亚文, 普晓英, 杨树明, 杜娟. 青稞和普通大麦全谷物功能成分差异分析. 西南农业学报, 2015, 28(6): 2360-2362
Yang T, Min K, Zeng Y W, Pu X Y, Yang S M, Du J. Difference analysis of functional components of whole grains between hull-less barley and normal barley. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2015, 28(6): 2360-2362
- [6] 唐珊珊, 顾楠, 潘志芬, 李健, 李俏, 邓光兵, 龙海, 赵国华, 余懋群. 青稞发芽过程中 β -葡聚糖含量变化及对麦芽品质的影响. 应用与环境生物学报, 2015, 21(4): 616-622
Tang S S, Gu N, Pan Z F, Li J, Li Q, Deng G B, Long H, Zhao G H, Yu M Q. Changes in β -glucan content of hull-less barley during germination and the effects on malt quality. Chinese Journal Applied Environmental Biology, 2015, 21(4): 616-622
- [7] 高汪磊, 龚凌霄, 张英. 青稞作为我国高原特色谷物资源在功能食品领域的开发潜力. 粮食与油脂, 2015, 28(2): 1-4
Gao W L, Gong L X, Zhang Y. The development potential of Tibetan hull-less barley as China plateau characteristic grain resources in the field of functional food. Cereals&Oils, 2015, 28(2): 1-4
- [8] 刘新红. 青稞品质特性及加工适应性研究. 西宁: 青海大学, 2014
Liu X H. Study on quality evaluation and processing suitability of hull-less barley. Xining: Qinghai University, 2014
- [9] Baidoo S K, Liu Y G. Hull-less barley for swine: ileal and faecal digestibility of proximate nutrients, amino acids and non-starch polysaccharides. Journal of the Science of Food and Agriculture, 1998, 76(76): 397-403
- [10] 白羿熊, 姚晓华, 姚有华, 杨莉娜, 吴昆仑. 水分亏缺对青藏高原小麦族作物籽粒中氮磷钾和氨基酸含量的影响. 中国农业大学学报, 2018, 23(7): 11-18
Bai Y X, Yao X H, Yao Y H, Yang L N, Wu K L. Effects of water deficit on the content of N, P and K and amino acids accumulation in wheat grains of Qinghai-Tibet Plateau. Journal of China Agricultural University, 2018, 23(7): 11-18
- [11] 张璐, 蒲彪, 陈安均, 刘兴艳. 阿坝大骨节病病区青稞中蛋白质营养价值评价. 食品科学, 2013, 34(23): 296-299
Zhang L, Pu B, Chen A J, Liu X Y. Nutritional assessment of proteins in highland barleys grown in high-incidence areas of kashin-beck disease in Aba, Sichuan. Food Science, 2013, 34(23): 296-299

- [12] 林津, 洛桑仁青, 周陶鸿, 张莉, 孟江南. 西藏山南隆子县黑青稞与白青稞的营养成分及生理活性物质的比较分析, 食品科技, 2016, 41 (10): 88-92
Lin J, Luo Sang R Q, Zhou T H, Zhang L, Meng J N. Analysis of nutrient ingredients and physiological active substances in black and white hulless barley from Shannan Longzi in Tibet. Food Science and Technology, 2016, 41 (10): 88-92
- [13] 朱圣陶, 吴坤. 蛋白质营养价值评价 - 氨基酸比值系数法. 营养学报, 1988, 10 (2): 187-190
Zhu S T, Wu K. Nutritional evaluation of protein ratio coefficient of amino acid. Acta Nutrimenta Sinica, 1988, 10 (2): 187-190
- [14] 杨永涛, 潘思源, 靳欣欣, 高仿, 田英姿, 丁晓丽. 不同品种核桃的氨基酸营养价值评价. 食品科学, 2017, 38 (13): 207-212
Yang Y T, Pan S Y, Jin X X, Gao F, Tian Y Z, Ding X L. Amino acid composition and nutritional evaluation of different varieties of walnut. Food Science, 2017, 38 (13): 207-212
- [15] FAO, WHO, UNU. Protein and amino acid requirements in human nutrition. Geneva, Switzerland: Report of a joint WHO/FAO/UNU expert consultation, WHO technical report series No. 935, 2007
- [16] 赵凤敏, 李树君, 张小燕, 杨炳南, 刘威, 苏丹, 杨延辰. 不同品种马铃薯的氨基酸营养价值评价. 中国粮油学报, 2014, 29 (9): 13-18
Zhao F M, Li S J, Zhang X Y, Yang B N, Liu W, Su D, Yang Y C. Nutritional evaluation of amino acid composition in different potato cultivar. Journal of Chinese Cereals and Oils Association, 2014, 29 (9): 13-18
- [17] 欧行奇, 任秀娟, 周岩. 叶菜型甘薯茎尖的氨基酸含量及组成分析. 中国食品学报, 2007, 7 (4): 120-125
Ou X Q, Ren X J, Zhou Y. Analysis on the amino acid content and the composition in the vegetable sweet potato tips. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2007, 7 (4): 120-125
- [18] 徐向英, 王岸娜, 林伟静, 钟葵, 周素梅. 不同燕麦品种的蛋白质营养品质评价. 麦类作物学报, 2012, 32 (2): 356-360
Xu X Y, Wang A N, Lin W J, Zhong K, Zhou S M. Evaluation of the protein nutrition quality of oats from different regions. Journal of Triticeae Crops, 2012, 32 (2): 356-360
- [19] 王绍中, 李春喜, 罗艳蕊, 姜丽娜. 基因型和地域分布对小麦籽粒氨基酸含量影响的研究. 西北植物学报, 2001, 21 (3): 437-445
Wang S Z, Li C X, Luo Y R, Jiang L N. Investigation on effects for genotype and region distribution to the grain amino acid contents of winter wheat. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2001, 21 (3): 437-445
- [20] 刘慧, 王朝辉, 李富翠, 李可懿, 杨宁, 杨月娥. 不同麦区小麦籽粒蛋白质与氨基酸含量及评价. 作物学报, 2016, 42 (5): 768-777
Liu H, Wang C H, Li F C, Li K Y, Yang N, Yang Y E. Contents of protein and amino acids of wheat grain in different wheat production regions and their evaluation. Acta Agronomica Sinica, 2016, 42 (5): 768-777
- [21] 李丹, 王建龙, 陈光辉. 稻米营养品质研究现状与展望. 中国稻米, 2007 (2): 5-9
Li D, Wang J L, Chen G H. The present situation and prospect of rice nutritional quality. China Rice, 2007 (2): 5-9
- [22] Petersen G I, Liu Y, Stein H H. Coefficient of standardized ileal digestibility of amino acids in corn, soybean meal, corn gluten meal, high-protein distillers dried grains, and field peas fed to weanling pigs. Animal Feed Science and Technology, 2014, 188 (1): 145-149
- [23] Almeida F N, Petersen G I, Stein H H. Digestibility of amino acids in corn, corn coproducts, and bakery meal fed to growing pigs. Journal of Animal Science, 2011, 89 (12): 4109-4115
- [24] Shaheen N, Islam S, Munmun S, Mohiduzzaman M. Amino acid profiles and digestible indispensable amino acid scores of proteins from the prioritized key foods in Bangladesh. Food Chemistry, 2016, 213: 83-89
- [25] Brestensky M, Nitrayová S, Patrás P, Heger J. Standardized ileal digestibilities of amino acids and nitrogen in rye, barley, soybean meal, malt sprouts, sorghum, wheat germ and broken rice fed to growing pigs. Animal Feed Science and Technology, 2013, 186 (1-2): 120-124
- [26] 王红梅, 刘巧泉, 顾铭洪. 稻米蛋白营养品质及其遗传改良. 植物生理学报, 2007, 43 (2): 391-396
Wang H M, Liu Q Q, Gu M H. The nutritional quality of rice proteins and its genetic improvement. Plant Physiology Journal, 2007, 43 (2): 391-396
- [27] Schaeffer G W, Sharpe F T, Dudley J T. Registration of five lysine-enhanced rice germplasm lines 2K41, 2K539, 2K (C193), 2K497, and 2K601. Crop Science, 1994, 34 (5): 1424-1425
- [28] 张晓霞. EM 生物蛋白的氨基酸营养分析的研究. 现代测量与实验室管理, 2008, 16 (3): 28-30
Zhang X X. Study on the analysis of amino acids in EM biological proteins. Advanced Measurement and Laboratory Management, 2008, 16 (3): 28-30
- [29] 闫景彩, 陈金龙, 陈瑜. 氨基酸平衡性评价指标的比较. 湖南农业大学学报: 自然科学版, 2009, 35 (2): 213-216
Yan J C, Chen J L, Chen Y. An evaluation about the indexes of amino acids balance. Journal of Hunan Agricultural University: Natural Sciences, 2009, 35 (2): 213-216
- [30] 翁德宝, 林玉婷. 黄皮种子蛋白质营养价值的评价研究. 中国野生植物资源, 2010, 29 (6): 14-17
Weng D B, Lin Y T. Evaluation of the nutritional value of seed protein from clausena lansium (Lour.) skeels. Chinese Wild Plant Resources, 2010, 29 (6): 14-17
- [31] 李望鸿, 李玉芳, 张环, 董熨, 杨文雄, 张国宏. 甘肃育成小麦品种与地方品种品质性状的比较分析. 麦类作物学报, 2008, 28 (6): 977-982
Li W H, Li Y F, Zhang H, Dong J, Yang W X, Zhang G H. Comparison analysis of quality characters between wheat cultivars bred and wheat landraces in Gansu. Journal of Triticeae Crops, 2008, 28 (6): 977-982
- [32] 何国庆, 曹立民. 啤酒用小麦蛋白质含量与制麦芽性能的关系. 中国粮油学报, 2002, 17 (6): 32-34
He G Q, Cao L M. The relationship between protein content and malting quality of wheat. Journal of Chinese Cereals and Oils Association, 2002, 17 (6): 32-34
- [33] 洛桑旦达, 强小林. 青稞特有营养成分分析与开发利用现状调查研究报告. 西藏科技, 2001, 100 (8): 55-64
Lausanned D, Qiang X L. Research reports of situations about analysis and exploitation of specific nutrients in barley. Tibet Science & Technology, 2001, 100 (8): 55-64