

琦明玉,张立媛,李志光,等. 糜子粒色、米色与营养指标及脱壳难易程度的相关性分析[J]. 江苏农业科学,2019,47(9):119-123.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2019.09.025

糜子粒色、米色与营养指标及脱壳难易程度的相关性分析

琦明玉, 张立媛, 李志光, 李红光, 赵 敏

(赤峰市农牧科学研究院,内蒙古赤峰 024031)

摘要:通过测定 4 种粒色的 20 份糜子材料的干基蛋白、干基脂肪、干基碳水化合物等相关营养指标,确定糜子粒色、米色与营养指标以及加工难易程度的相关性。结果表明,相同粒色糜子,干基蛋白含量与干基碳水化合物含量之间呈负相关性,且二者此消彼长;干基蛋白含量与总氨基酸含量呈正相关性,且二者同时增减;黑粒糜子的干基碳水化合物含量高于白粒糜子,但氨基酸含量较白粒糜子和红粒糜子低。同一粒色糜子前提下,其米色越浅,干基蛋白、总氨基酸含量越高,干基碳水化合物含量却越低;白粒糜子较其他颜色糜子更易脱壳加工,黄色居中,黑色、红色较为困难;在同一粒色下,不同米色的糜子脱壳的难易程度也不同,难易程度随着米色变浅,难度降低。

关键词:糜子;粒色;米色;营养指标;脱壳

中图分类号: S516.01

文献标志码: A

文章编号: 1002-1302(2019)09-0119-05

糜子 (*Panicum miliaceum* L.) 属禾本科黍属 (*Panicum miliaceum*), 起源于我国黄河流域的古老农作物, 主要分为粳、糯 2 种, 直链淀粉含量占总质量的 7.5% 以下为粳性, 0.5% 以下为糯性^[1-2]。糜子是我国北方地区主要杂粮作物之一, 也是重要的抗旱防灾作物。目前对糜子的研究主要围绕在栽培、理化、育种等方面, 对其籽粒形态结构、加工以及营

养指标等方面的研究甚少。郑楠楠等对 8 个品种的黍子营养成分进行分析研究, 表明不同黍子品种间主要品质指标具有差异性^[3]; 韩浩坤分析了不同品种糜子籽粒形成过程中淀粉及蛋白质的动态变化特性以及显著差异性^[4]。申瑞玲等在食品开发方面综述了糜子的营养特性、生理功能特性以及研究前景^[5]; 张丽珍等对糜子面和糜子面在淀粉理化性质及消化特性上做差异分析研究^[6]; 冀佩双也对糜子面和糜子面中淀粉的理化性质、氨基酸和 γ -氨基丁酸含量的差异性进行研究^[7]。在生产上糜子籽粒常见黑、白、红、黄、复色等主要颜色, 本研究基于籽粒颜色将糜子分类, 在不同粒色的基础上, 研究糜子主要营养指标的相关性以及粒色、米色与主要营养指标的相关性和在加工难易程度上的差异性。

收稿日期: 2018-01-29

基金项目: 农业部国家谷子高粱产业技术体系项目 (编号: CARS-07-13.5)。

作者简介: 琦明玉 (1985—), 女, 内蒙古鄂尔多斯人, 硕士, 助理研究员, 主要从事糜子栽培与育种研究。E-mail: qimingyu006@126.com。

[14] 沈才标, 王驾清, 孙祖高, 等. 水稻精量穴直播机的引进及应用初探[J]. 上海农业科技, 2012(3): 36-38.

[15] 罗锡文, 蒋恩臣, 王在满, 等. 开沟起垄式水稻精量穴直播机的研制[J]. 农业工程学报, 2008, 24(12): 52-56.

[16] 曹秀娟, 张 珍, 季 青. “秀水 134”机穴播不同种植密度试验初报[J]. 上海农业科技, 2016(4): 85.

[17] 卢 燕, 王小军, 张洪程, 等. 不同品种不同密度水直播稻的高产机理研究[J]. 江苏农业科学, 2008(1): 18-21.

[18] 赵志鹏, 曹黎明, 王新其, 等. 氮素与密度处理对水稻精量穴直播群体特征及产量结构的影响[J]. 上海交通大学学报 (农业科学版), 2014, 32(2): 68-73.

[19] 陈兴国, 梅少华, 查向斌, 等. 水稻机械精量穴直播技术应用与示范[J]. 湖北农业科学, 2010, 49(5): 1038-1041.

[20] 王国忠, 彭 斌, 陆峥嵘, 等. 直播水稻物质生产特点及其高产调控技术研究[J]. 上海农业学报, 2002, 18(2): 32-37.

[21] 顾掌根, 王岳钧. 水稻直播栽培高产机理研究初报[J]. 作物研究, 2001, 15(2): 5-8, 12.

[22] 刘小林, 李就好, 邹一平, 等. 机械精量穴直播技术对水稻产量与抗逆性的影响[J]. 江苏农业学报, 2010, 26(3): 658-660.

[23] 郑克武. 客观面对直播稻的迅速发展研究掌握直播稻的稳产技术[J]. 江苏农业科学, 2009(1): 59-61, 62.

[24] 唐湘如, 罗锡文, 黎国喜, 等. 精量穴直播早稻的产量形成特性[J]. 农业工程学报, 2009, 25(7): 84-87.

[25] 舒时富, 郑天翔, 贾兴娜, 等. 精量穴直播晚稻的产量形成特性研究[J]. 华南农业大学学报, 2010, 31(1): 96-98.

[26] 彭 斌, 王国忠, 陆峥嵘, 等. 肥料密度对直播水稻“武运梗 8 号”产量及构成因素的影响[J]. 江苏农业学报, 2003, 19(3): 157-162.

[27] 顾春军, 王治雄, 戴国忠. 水稻不同播种方式对产量影响试验[J]. 上海农业科技, 2012(3): 46.

[28] 王新其, 赵志鹏, 李国梁, 等. 水稻机穴播密度对群体冠层光截获及产量构成影响[J]. 上海农业学报, 2017, 33(1): 35-40.

[29] 池忠志, 姜心禄, 郑家国. 不同种植方式对水稻产量的影响及其经济效益比较[J]. 作物杂志, 2008(2): 73-75.

[30] 丁 涛, 秦玉金. 水稻不同栽培方式对产量效益及生育特性的影响[J]. 安徽农业科学, 2006, 34(14): 3337-3338.

[31] 唐雅莹, 王平裕, 曹晓利, 等. 水稻规模化生产不同种植方式的经济分析[J]. 上海农业学报, 2013, 29(3): 44-48.

1 材料与方法

1.1 试验材料

内蒙古赤峰市农牧科学院糜子研究所种质资源库共收集选育糜黍资源 370 余份,2017 年从中选出红色、白色、黑色、黄色糜子材料各 5 份,共 20 份试验材料,具体材料名称编号见表 1。

表 1 糜子籽粒颜色分类及编号

粒色	编号	名称	粒色	编号	名称
红	R001	nm11-05	白	W001	nm08-05
	R002	赤黍 1 号		W002	ym0201
	R003	晋黍 7 号		W003	赤黍 2 号
	R004	齐黍 1 号		W004	达旗大白黍
	R005	nm11-08		W005	赤黍 8
黄	Y001	龙黍 21	黑	B001	nm11-04
	Y002	黄密黍		B002	黍谷
	Y003	伊选黄糜		B003	自繁大黑黍
	Y004	nm11-03		B004	辐射黑糜子
	Y005	nm11-02		B005	资源大黑黍

1.2 试验方法

营养指标的测定:每份材料脱壳成米 100 g 备用,营养指标于 2017 年在中国农业大学食品学院统一测定。干基脂肪含量的测定:准确称取试样 1.0~5.0 g(准确至 0.000 2 g),采用索氏脂肪提取器测定。干基蛋白含量的测定:准确称取试样 0.2~0.3 g(含有 10~30 mg 粗蛋白质),采用半微量凯

氏定氮法测定。干基碳水化合物含量的测定:准确称取试样 1.0~3.0 g,采用蒽酮比色法测定总糖含量,换算出干基碳水化合物总量。总氨基酸含量的测定:准确称取 1.0~2.0 g 样品,采用茚三酮比色法测定总氨基酸含量。直、支链淀粉含量的测定:准确称取 1.0~2.0 g 样品,采用双波长法测定。米色:糜子脱壳后,对米色通过国际标准比色卡对照表表示。壳薄厚:取每份材料 200.0 g 种子进行脱壳,计算每一遍脱壳后的出米率,并记录每份材料出米率 >80% 时的脱壳次数。脱壳机械:TP-JLG 型号微型砉谷机,购自浙江托普云农有限公司。

2 结果与分析

2.1 相同粒色下糜子营养指标间的相关性分析

由表 2 可知,黑粒糜子样品中,淀粉支直比与干基脂肪含量呈极显著负相关;干基蛋白含量与干基碳水化合物含量之间呈极显著负相关,与总氨基酸含量呈极显著正相关;干基碳水化合物含量与总氨基酸含量呈极显著负相关。

由表 3 可知,黄粒糜子干基蛋白含量与干基碳水化合物含量之间呈极显著负相关,与总氨基酸含量之间呈极显著正相关;干基碳水化合物含量与总氨基酸含量之间呈极显著负相关。

由表 4 可知,白粒糜子干基蛋白含量与总氨基酸含量之间呈极显著正相关;干基碳水化合物含量与总氨基酸含量之间呈显著负相关。

由表 5 可知,干基蛋白含量与干基碳水化合物含量之间呈极显著负相关,与总氨基酸含量之间呈极显著正相关;干基

表 2 黑粒糜子品质指标的相关性分析

相关系数	总淀粉含量	淀粉支直比	干基蛋白含量	干基脂肪含量	干基碳水化合物含量	总氨基酸含量
总淀粉含量	1.00	-0.31	0.78	0.26	-0.81	0.84*
淀粉支直比	-0.31	1.00	-0.06	-0.93**	0.25	-0.13
干基蛋白含量	0.78	-0.06	1.00	0.17	-0.97**	0.99**
干基脂肪含量	0.26	-0.93**	0.17	1.00	-0.38	0.19
干基碳水化合物含量	-0.81	0.25	-0.97**	-0.38	1.00	-0.97**
总氨基酸含量	0.84*	-0.13	0.99**	0.19	-0.97**	1.00

注: *、** 分别表示在 0.05、0.01 水平显著、极显著相关。表 3、表 4、表 5 同。

表 3 黄粒糜子品质指标的相关性分析

指标	相关系数					
	总淀粉含量	淀粉支直比	干基蛋白含量	干基脂肪含量	干基碳水化合物含量	总氨基酸含量
总淀粉含量	1.00	-0.43	-0.44	-0.08	0.70	-0.58
淀粉支直比	-0.43	1.00	0.67	0.05	-0.81	0.76
干基蛋白含量	-0.44	0.67	1.00	0.71	-0.95**	0.99**
干基脂肪含量	-0.08	0.05	0.71	1.00	-0.62	0.63
干基碳水化合物含量	0.70	-0.81	-0.95**	-0.62	1.00	-0.98**
总氨基酸含量	-0.58	0.76	0.99**	0.63	-0.98**	1.00

表 4 白粒糜子品质指标的相关性分析

指标	相关系数					
	总淀粉含量	淀粉支直比	干基蛋白含量	干基脂肪含量	干基碳水化合物含量	总氨基酸含量
总淀粉含量	1.00	-0.76	-0.51	-0.30	0.48	-0.61
淀粉支直比	-0.76	1.00	0.73	-0.10	-0.79	-0.56
干基蛋白含量	-0.51	0.73	1.00	0.43	-0.74	0.99**
干基脂肪含量	-0.30	-0.10	0.43	1.00	0.07	0.34
干基碳水化合物含量	0.48	-0.79	-0.74	0.07	1.00	-0.88*
总氨基酸含量	-0.61	-0.56	0.99**	0.34	-0.88*	1.00

表 5 红粒糜子品质指标的相关性分析

指标	相关系数					
	总淀粉含量	淀粉支直比	干基蛋白含量	干基脂肪含量	干基碳水化合物含量	总氨基酸含量
总淀粉含量	1.00	0.19	0.59	0.47	-0.70	0.46
淀粉支直比	0.19	1.00	0.65	-0.49	-0.52	0.68
干基蛋白含量	0.59	0.65	1.00	0.28	-0.97 **	0.96 **
干基脂肪含量	0.47	-0.49	0.28	1.00	-0.36	0.28
干基碳水化合物含量	-0.70	-0.52	-0.97 **	-0.36	1.00	-0.88 *
总氨基酸含量	0.46	0.68	0.96 **	0.28	-0.88 *	1.00

碳水化合物含量与总氨基酸含量呈显著负相关。

综合 4 种粒色糜子营养指标之间的相关性可知,在相同粒色下,干基蛋白含量与总氨基酸含量呈正相关性,且二者同时增减;干基蛋白含量与干基碳水化合物含量之间呈负相关性,且二者此消彼长。

2.2 粒色、米色与营养指标间的差异性分析

2.2.1 不同粒色糜子之间营养指标的差异性分析 由表 6 可知,不同粒色糜子干基蛋白含量无显著差异性;淀粉支直比、干基脂肪含量标准差的 2 倍数值大于或接近均值,说明数

据可信度较低,因此不同粒色糜子的干基脂肪含量和淀粉支直比是否有变化在本试验中未体现,需进一步鉴定;白粒糜子的干基碳水化合物含量显著低于黑粒糜子,其他粒色糜子之间无显著差异性;黑粒糜子的总氨基酸含量要显著低于白粒、黄粒糜子,其他粒色糜子之间无显著差异性。结果表明,在本试验中不同粒色的糜子营养指标是有差异的,黑粒糜子干基碳水化合物含量要高于白粒糜子,但总氨基酸含量较白粒、黄粒、红粒糜子低。

表 6 不同粒色糜子之间营养指标差异性分析

粒色	淀粉支直比	干基蛋白含量 (%)	干基脂肪含量 (%)	干基碳水化合物含量 (%)	总氨基酸含量 (%)
黑色	15.12 ± 8.013 5a	11.42 ± 1.552 8a	2.02 ± 0.977 3ab	85.82 ± 1.824 0a	9.21 ± 1.448 1b
黄色	12.70 ± 8.654 2a	13.46 ± 1.430 4a	2.57 ± 0.428 7a	83.52 ± 2.760 8ab	11.40 ± 1.559 2a
白色	22.39 ± 10.236 0b	12.78 ± 1.735 0a	1.30 ± 0.703 5b	80.90 ± 4.471 0b	11.76 ± 0.593 0a
红色	111.48 ± 32.764 5c	12.57 ± 1.198 7a	2.45 ± 0.745 2a	84.10 ± 2.677 7ab	10.13 ± 0.890 9ab

注:同列数据后不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著;数值为均值 ± 标准差。表 8 同。

2.2.2 不同米色糜子之间营养指标的差异性分析 根据试验设计将同一粒色的糜子按照米色由深到浅排序。由表 7 和图 1 至图 5 可知,同一粒色下,随着米色由 RAL 1016(硫磺色) - RAL 9001(彩色黄) - RAL 9010(纯白色)由深至浅变

化,籽粒的营养指标相应出现变化。同一粒色下,随着米色由深至浅,其干基蛋白含量、总氨基酸含量整体逐渐升高,干基碳水化合物含量整体逐渐降低,而干基脂肪含量、淀粉支直比无明显规律性变化。结果表明,在本试验中不同米色的糜子营

表 7 米色与籽粒营养指标含量关系

编号	米色	淀粉支直比	干基蛋白含量 (%)	干基脂肪含量 (%)	干基碳水化合物含量 (%)	总氨基酸含量 (%)
B001	RAL 1016	26.40	9.25	1.69	88.3	6.97
B003	RAL 1016	1.50	10.29	2.06	87.2	8.52
B005	RAL 9001	2.01	12.41	2.99	84.7	10.05
B004	RAL 9001	45.30	12.50	0.55	84.1	10.21
B002	RAL 9010	0.43	12.65	2.80	84.8	10.30
Y004	RAL 1016	0.59	11.62	2.21	86.7	9.30
Y005	RAL 1016	0.73	12.20	2.25	86.0	10.23
Y001	RAL 9001	1.24	14.44	3.27	82.3	12.15
Y003	RAL 9010	1.70	14.48	2.48	82.5	12.39
Y002	RAL 9010	59.25	14.56	2.64	80.1	12.95
W005	RAL 1016	15.84	10.75	1.32	87.4	11.10
W003	RAL 1016	55.81	11.03	0.56	82.2	11.15
W004	RAL 1016	5.55	13.92	2.35	81.0	11.98
W002	RAL 9001	15.27	14.01	0.77	78.5	12.21
W001	RAL 9010	19.52	14.21	1.52	75.4	12.35
R001	RAL 1016	51.22	11.45	2.09	86.2	9.09
R005	RAL 1016	0.80	11.21	1.88	87.4	9.22
R003	RAL 1016	1.00	12.95	3.55	83.7	10.72
R002	RAL 9001	13.98	13.20	2.88	82.2	10.75
R004	RAL 9010	490.43	14.02	1.84	81.0	10.86

注:米色通过国际标准比色卡对照表表示。RAL 1016 为硫磺色,RAL 9001 为彩色黄,RAL 9010 为纯白色。

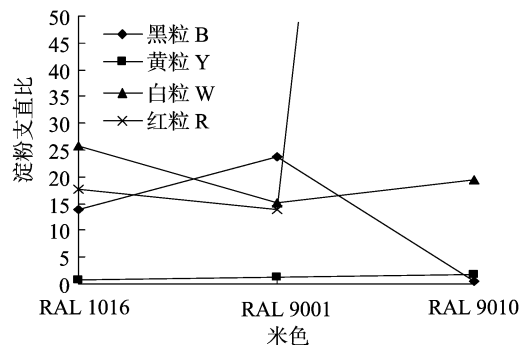


图1 不同粒色下随米色变化淀粉支直比变化

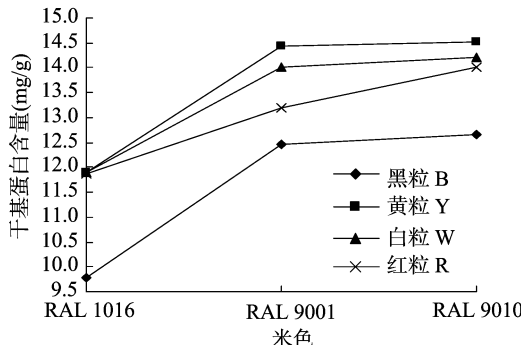


图2 不同粒色下随米色变化干基蛋白含量变化

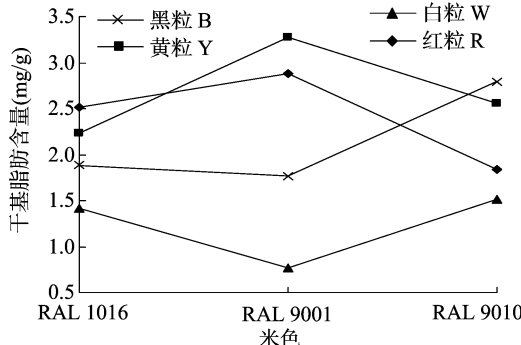


图3 不同粒色下随米色变化干基脂肪含量变化

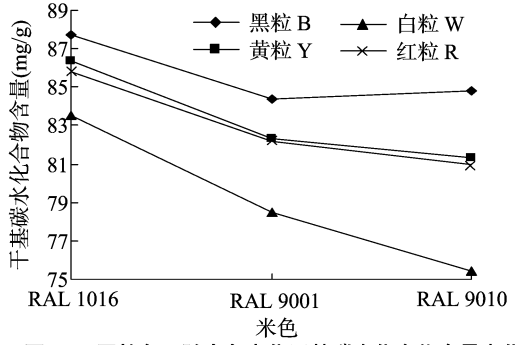


图4 不同粒色下随米色变化干基碳水化合物含量变化

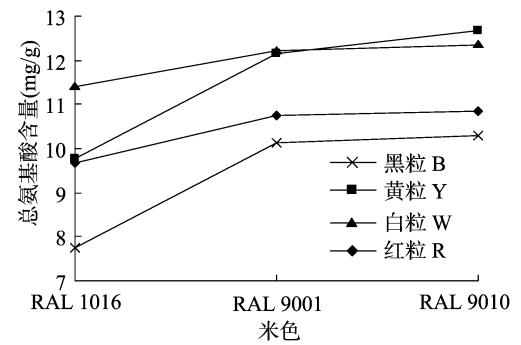


图5 不同粒色下随米色变化总氨基酸含量变化

表 8 不同粒色及米色材料第 1 遍出米率差异性分析

编号	米色	第 1 遍出米率 (%)
W001	RAL 9010	69.4 ± 0.960 9a
W002	RAL 9001	66.9 ± 1.552 4b
W004	RAL 1016	65.5 ± 1.167 6bc
W003	RAL 1016	63.5 ± 1.179 0cd
W005	RAL 1016	62.7 ± 1.656 3d
Y002	RAL 9010	49.5 ± 1.301 3e
Y003	RAL 9010	48.7 ± 1.345 4e
Y001	RAL 9001	44.9 ± 0.461 9f
Y005	RAL 1016	41.8 ± 2.088 1g
Y004	RAL 1016	41.2 ± 0.416 3g
R004	RAL 9010	40.3 ± 1.504 4gh
B002	RAL 9010	38.7 ± 2.406 2hi
R002	RAL 9001	38.1 ± 1.222 0hij
B004	RAL 9001	37.3 ± 1.006 6ijk
R005	RAL 1016	35.8 ± 1.216 6jkl
R001	RAL 1016	35.8 ± 1.113 6jkl
B001	RAL 1016	35.4 ± 0.665 8kl
B005	RAL 9001	35.3 ± 1.361 4kl
R003	RAL 1016	35.2 ± 1.708 8kl
B003	RAL 1016	33.8 ± 1.517 7l

第 1 遍出米率显著高于其他粒色糜子,其次为黄粒糜子,黑粒与红粒糜子之间差异性较小。

在现实生产中,糜子脱壳难易程度与达到生产所需时的出米率加工次数呈正相关关系。本试验记录了试验材料在达到 80% 以上出米率时的加工次数,由表 9 可知,红粒、黑粒色糜子加工均至少至第 3 遍,甚至至第 4 遍才达到 80% 以上出米率,黄粒糜子加工至第 3 遍,白粒糜子加工至第 2 遍达到 80% 以上出米率。

结果表明,不同粒色的糜子其脱壳的难易程度不同,在本试验中,脱壳难易程度从易到难排序为白粒 > 黄粒 > 黑粒 > 红粒。在同一粒色下,不同米色的糜子脱壳的难易程度也不同,在本试验中,4 种粒色的糜子均表现米色为 RAL 9010 较 RAL 1016 易脱壳,同时黄壳糜子 RAL 9010 较 RAL 9001 易脱壳。说明同一粒色下,糜子脱壳的难易程度随着米色变浅难度降低。

3 结论与讨论

3.1 碳水化合物与蛋白质及氨基酸含量的相关性
本试验中,在相同的粒色下干基碳水化合物含量与干基蛋白含量之间呈负相关性,干基蛋白含量与总氨基酸含量呈

养指标是有差异的,同一粒色糜子前提下,米色越浅其干基蛋白、总氨基酸含量越高,碳水化合物含量却越低。
2.3 粒色、米色与糜子脱壳难易程度、出米率的关系
对所有试验材料第 1 遍出米率进行差异性分析,由表 8 可知,白粒糜子不同米色第 1 遍出米率差异性表现为 RAL 9010 > RAL 9001 ≈ RAL 1016;黄粒糜子不同米色第 1 遍出米率差异性表现为 RAL 9010 > RAL 9001 > RAL 1016;白粒糜子

表 9 出米率统计

编号	米色	出米率			
		第 1 遍	第 2 遍	第 3 遍	第 4 遍
B001	RAL 1016	35.37	52.17	67.00	81.53
B003	RAL 1016	33.77	53.93	66.70	81.47
B005	RAL 9001	35.27	53.73	66.53	80.87
B004	RAL 9001	37.33	56.23	80.67	
B002	RAL 9010	38.70	61.20	82.07	
Y004	RAL 1016	41.17	72.30	79.73	
Y005	RAL 1016	41.80	73.83	81.43	
Y001	RAL 9001	44.93	67.37	81.70	
Y003	RAL 9010	48.70	65.97	80.83	
Y002	RAL 9010	49.53	69.73	82.13	
W005	RAL 1016	62.67	82.63		
W003	RAL 1016	63.50	85.13		
W004	RAL 1016	65.47	82.67		
W002	RAL 9001	66.90	84.10		
W001	RAL 9010	69.37	82.40		
R001	RAL 1016	35.80	56.93	68.50	81.57
R005	RAL 1016	35.80	56.80	72.50	81.47
R003	RAL 1016	35.20	63.37	80.53	
R002	RAL 9001	38.13	61.63	80.83	
R004	RAL 9010	40.33	61.63	80.73	

正相关性。不同粒色的糜子相比较,黑粒糜子的干基碳水化合物含量要高于白粒糜子,但氨基酸含量较白粒糜子和红粒糜子低。2 项结论均说明碳水化合物含量越高的糜子其蛋白质含量相对较低。蛋白质的主要成分为各类氨基酸,因此蛋白含量与总氨基酸含量应呈正向关系。孙艺丹在对不同谷子品种营养成分进行分析时,得出相似结论,即谷子的各项营养指标中,碳水化合物含量与蛋白质含量呈极显著负相关,与灰分含量呈显著负相关,与水分含量呈正相关^[8]。荆奇等在对小麦品质性状的变异及品质标准研究中也得出,蛋白质含量在一定程度上代表了小麦品质,其与代表产量的碳水化合物含量之间呈负相关性^[9]。

3.2 米色、粒色与营养指标之间的关系

在本试验中,不同粒色的糜子营养指标是有差异的,黑粒糜子的碳水化合物含量高于白粒糜子,但氨基酸含量较白粒糜子和红粒糜子低。在相同粒色前提下,米色越浅其干基蛋白、总氨基酸含量越高,碳水化合物含量却越低。路阳认为,小米存在深黄、浅黄、白色、绿色等多种颜色差异,主要是由于类胡萝卜素的差异导致的,并且证明了不同米色形成过程中与β-胡萝卜素生物合成及分解代谢相关基因(*SiLCYE*、*SiCCD1*、*SiHYD*)是有直接相关性^[10]。张耀元等也证实了在谷子中类胡萝卜素生物合成途径 *SiLCYB* 基因与米色形成的关系^[11]。吴纪民等认为,麦籽粒颜色性状主要由遗传基因控制^[12]。李金良等通过对特殊小麦进行研究认为,小麦的粒色决定于自身的遗传,特殊果皮颜色的形成受 1 个显性基因 *P4* 控制^[13]。在谷子研究中,米色的差异性主要由相关基因控制。在对谷物籽粒颜色研究中,籽粒颜色的差异也是由于基因控制。目前没有对糜子粒色和米色差异性形成的相关研究,但相关基因也应是主要影响因素,其造成米色和粒色差异

的情况下,是否会影响蛋白质、碳水化合物等营养指标的含量还有待研究验证。已知的研究是,樊巧利在禾谷类作物的研究中发现,*Waxy* 基因缺陷和突变体数量影响碳水化合物形成以及直链淀粉的含量^[14]。

3.3 米色、粒色与脱壳难易程度的相关性

本试验中,不同粒色的糜子其脱壳的难易程度不同,脱壳难易程度,由易到难排序为白粒 > 黄粒 > 黑粒 > 红粒。同一粒色下,糜子脱壳的难易程度随着米色变浅,难度降低。这与现实生产加工情况一致。但是糜子籽粒加工方面的研究甚少,杨作梅等对糜子籽粒压缩力学特性的研究表明,含水率越低,糜子籽粒硬度越高,承受载荷的能力越强,主要因为高含水率使籽粒内部组织软化,承受载荷的能力下降^[15]。因此,籽粒内部组织的坚硬程度可以作为衡量糜子籽粒力学特征的指标之一。粒色和米色是否能成为衡量糜子加工指标还有待考证。

参考文献:

[1] Nishizawa S, Shimanuki S, Fujihashi H, et al. Proso millet protein elevates plasma level of high-density lipoprotein; a new food function of proso millet[J]. Biomedical and Environmental Sciences, 1996, 9 (2/3): 209-212.

[2] Nishizawa N, Sato D, Ito Y, et al. Effects of dietary protein of proso millet on liver injury induced by D-galactosamine in rats[J]. Journal of the Agricultural Chemical Society of Japan, 2002, 66(1): 92-96.

[3] 郑楠楠, 负婷婷, 么 杨, 等. 不同品种黍子营养成分及功能活性成分差异化分析[J]. 食品工业科技, 2017, 38(1): 348-359.

[4] 韩浩坤. 糜子籽粒形成过程中淀粉及蛋白质积累特性研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2017: 23-25.

[5] 申瑞玲, 马玉玲, 杜文娟, 等. 糜子的营养生理功能特性及产品开发现状[J]. 粮食与油脂, 2017, 30(1): 9-12.

[6] 张丽珍, 冀佩双, 罗旭泉, 等. 糜黍淀粉理化性质及消化特性[J]. 食品科学, 2016, 37(19): 76-81.

[7] 冀佩双. 糜黍中营养物质的研究[D]. 太原: 山西大学, 2016: 22-25.

[8] 孙艺丹. 不同谷子品种主要农艺性状, 营养品质与食味品质的关系[D]. 太原: 山西大学, 2016: 22-27.

[9] 荆 奇, 曹卫星, 戴廷波. 小麦籽粒品质形成及其调控研究进展[J]. 麦类作物学报, 1999, 19(4): 46-50.

[10] 路 阳. 谷子 *SiLCYB* 基因的克隆及其与米色形成关系的研究[D]. 太原: 山西大学, 2015: 14-16.

[11] 张耀元, 路 阳, 张 彬, 等. 谷子类胡萝卜素生物合成途径 *SiLCYB* 基因与米色形成的关系[J]. 分子植物育种, 2016, 14 (6): 1341-1351.

[12] 吴纪民, 刘世家, 魏燮中, 等. 不同颜色小麦籽粒的发芽特性和生理特征的研究[J]. 种子, 1995, 36(1): 21-24.

[13] 李金良, 李金榜, 李中恒, 等. 特殊粒色小麦研究概述[J]. 种子世界, 2003, 3(5): 34.

[14] 樊巧利. 谷子农艺性状和食味品质评价与 *Waxy* 基因多态性[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2017: 16-17.

[15] 杨作梅, 郭玉明, 崔清亮, 等. 黍子籽粒压缩力学特性试验研究[J]. 农产品加工, 2016(5): 1-4.