

# 近红外法快速测定化学成分结合指纹图谱技术在玉米种子品种鉴定的应用研究

杨博<sup>1</sup> 于喆源<sup>1</sup>(通讯作者) 王晓霞<sup>1</sup> 刘春林<sup>2</sup>

1 甘肃省张掖市质量检验检测研究院，甘肃张掖，734000；

2 张掖丰安质量检测科技服务有限责任公司，甘肃张掖，734000；

**摘要：**目的：建立玉米种子化学成分指纹图谱，评价其各成分间规律，并寻对品种鉴别的主要成分。方法：采用近红外光谱法对玉米种子中 17 种氨基酸、总氨基酸、蛋白质、淀粉、油脂、干基纤维共 22 个成分进行定量测定，绘制基于上述成分的玉米种子化学成分指纹图谱，并应用化学计量学统计对结果进行相关分析。结果：建立了玉米种子化学成分指纹图谱，根据向量相似法计算指纹图谱之间的相似度均在 0.9 以上，表明所构建的玉米种子化学成分指纹图谱具有一定的有效性，表明玉米种子各成分均一性良好。应用主成分分析，得出蛋白质、天冬氨酸、苏氨酸、丝氨酸、谷氨酸、甘氨酸、丙氨酸、异亮氨酸、亮氨酸、苯丙氨酸以及总氨基酸量贡献率相对较为明显，对不同玉米种子间内在成分水平的评价具有意义贡献率相对较为明显，可以作为品种鉴别的依据。结论：建立的基于 22 种玉米化学成分的指纹图谱，可为张掖种植玉米品种鉴定提供依据。

**关键词：**玉米种子；近红外光谱法；氨基酸；指纹图谱；化学计量学分析

DOI: 10.69979/3041-0673.26.02.063

玉米种子是我国的主要粮食和饲料作物，常年播种面积约 2450 万公顷，产量在 1.24 亿吨左右，占全国粮食播种面积的 22%、占总产量的 25%，在我国农业生产中占有重要地位。因此，玉米种子的种子质量对于我国粮食、农业生产的发展和农民收益的提高等意义十分重大。目前我国种子质量的问题比较严重，一些不法分子为追求经济利益频频购销假冒伪劣和纯度严重超标的种子，严重影响了正常的农业生产以及优良品种的增产效益，给国家和农民造成了巨大无法弥补的损失。同时，涉及作物品种权争议的事例也在逐年增加。尤其是近年来在市场经济条件下，国内一些种子繁育和经营单位及个人片面追求产量而忽视种子质量，甚至混杂掺假，以次充好，造成玉米种子质量严重滑坡，极大地损害农民地利益。因此，对玉米种子纯度的快速、准确和有效地鉴定就显得尤为重要<sup>[1][2][3]</sup>。此外，为使育种者的知识产权得以保护，解决与品种专利权有关的问题，也迫切需要对新品种、新品系、新种质进行鉴定。解决这一问题的有效途径是对玉米种子品种进行纯度检测和质量鉴定，将不合格的种子予以淘汰。

玉米种子纯度鉴定传统上主要采用形态学方法、蛋白电泳法、与近年来兴起的基于分子生物学技术的 PCR 鉴定技术。形态学鉴定所利用的形态性状数量有限，且易受环境条件影响，其准确性较差。蛋白电泳法由于可利用的位点和类型有限，对亲缘关系较近的材料难以区

分。PCR 技术虽然准确，但是对实验室环境要求较高，且需要购置专属设备。

蛋白质、淀粉、油脂、干基纤维，以及各种氨基酸是玉米种子在生长过程中产生的营养物质，其含量和比例因种植品种不同，具有一定的差异。传统测量方法对上述成分的测量需要采用不同方法对样品进行处理，实验操作繁琐，且对实验人员有较高要求，不适用于大批量样品。近红外光谱法（NIRS）是近年兴起的一种测量技术，采用其对样品进行分析，简单方便、分析快速、不破坏样品，不会产生任何有毒废弃物在医药<sup>[4][5]</sup>、食品<sup>[6][7]</sup>、农业<sup>[8]</sup>、生物<sup>[9]</sup>等领域中广泛应用。

因此本研究对 8 个同系品种的玉米种子中 17 种氨基酸、总氨基酸、蛋白质、淀粉、油脂、干基纤维共 22 个成分含量为指标，采用近红外光谱仪进行直接无损定量测量，建立基于上述成分的玉米种子指纹图谱，并结合采用化学计量学的方法对其进行综合评价分析，以期为玉米种子品种鉴定提供一种新的思路。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

本实验样品采集自甘肃省张掖市各县区不同种植区域的不同种类玉米种子，经合作单位张掖市金玉种业有限责任公司技术专家鉴定，核实其品种，采集后阴凉处自然晾干，放入自封袋保存备用。样品信息见表 1。

表 1 65 批玉米种子品种信息

样品代号	品种代号	品种归类代号	样品代号	品种代号	品种归类代号	样品代号	品种代号	品种归类代号
Y001	JY-6	P3	Y026	xf881	P8	Y051	zd958	P5
Y002	JY-3	P1	Y027	jnk458	P5	Y052	lz2 号	P1
Y003	Jnk728D	P5	Y028	xd988	P6	Y053	hb692-2	P7
Y004	zd958	P5	Y029	JY-14	P8	Y054	jy317	P1
Y005	xf838	P8	Y030	jnk728D	P5	Y055	jnk458	P5
Y006	ly3 号	P4	Y031	zd958	P5	Y056	djj23	P6
Y007	hb701	P7	Y032	jnk458	P5	Y057	qd832	P4
Y008	xd534	P6	Y033	hb692-2	P7	Y058	jy22	P8
Y009	xf838	P3	Y034	JY-8	P3	Y059	fy27	P1
Y010	ly3X	P4	Y035	lm362	P4	Y060	ly976	P1
Y011	t3107	P4	Y036	jk968D	P5	Y061	JY-8	P3
Y012	jnk458	P5	Y037	xy889	P7	Y062	jy219	P8
Y013	kw959	P2	Y038	jnk728D	P5	Y063	yy66	P1
Y014	jnk728D	P5	Y039	jy317	P8	Y064	JY-14	P8
Y015	djj16	P6	Y040	jy317	P8	Y065	jnk728D	P5
Y016	yy66	P1	Y041	JY-14	P8			
Y017	fy27	P1	Y042	jy219	P8			
Y018	dr55	P1	Y043	zd958	P5			
Y019	wk968	P4	Y044	jnk458	P5			
Y020	jk938	P8	Y045	jnk728D	P5			
Y021	fy903	P1	Y046	jy218	P7			
Y022	jy219	P8	Y047	jk938	P8			
Y023	zd958	P5	Y048	m858	P7			
Y024	m121	P7	Y049	m168	P4			
Y025	hy317	P8	Y050	zd958	P5			

## 1.2 仪器及设备

福斯近红外谷物分析仪 Infratec，具备玉米种子上描述成分近红外定量数据库。

## 1.3 方法

### 1.3.1 待测样品的制备

取外观完整的玉米种子颗粒，对表面进行清洁，待测。

### 1.3.2 设备的数据校准

将已知蛋白质、淀粉、油脂、干基纤维，以及 17 种氨基酸含量的玉米种子样品放入设备内进行测试，对数据进行校准。

### 1.3.3 仪器参数设置

路径长度：自动控制。

回归程序：ANN（人工神经网络）

## 2 结果与分析

### 2.1 指纹图谱的建立及相似度分析

指纹图谱是近年来用于表征天然植物中多成分特

征的一种综合性质量分析方法，可以较为全面地反映出天然植物多成分体系的整体状况<sup>[13]</sup>，同时在产地溯源等非直接质量评价方面具有非常重要的意义<sup>[14][15]</sup>。通过近红外光谱法（NIRS）对玉米种子中主要成分进行定量测量，其原理是玉米种子在生长过程中产生的各种化学物质，其含量和比例会因品种不同，具有一定的差异。因此，以各类化学成分含量建立指纹图谱可以用于玉米种子品种鉴定。

本研究选择的蛋白质、淀粉、油脂、干基纤维，以及 17 种氨基酸是玉米种子中主要的有机成分，以参与试验的上述成分为横坐标，含量为纵坐标绘制指纹图谱，如图 1。可以看出，不同品种的玉米种子在不同成分含量上有一定差异，但是含量水平大致相同，这种趋势特征可作为玉米种子的品种特征。指纹图谱相似度采用夹角余弦相似度进行表征，夹角越小，余弦值越接近于 1，则越相似，结果表明不同品种玉米种子在各成分累计生成特征存在比较明显的一致性，但经过相似度分析，各样品之间还是具有较为明显的区别。

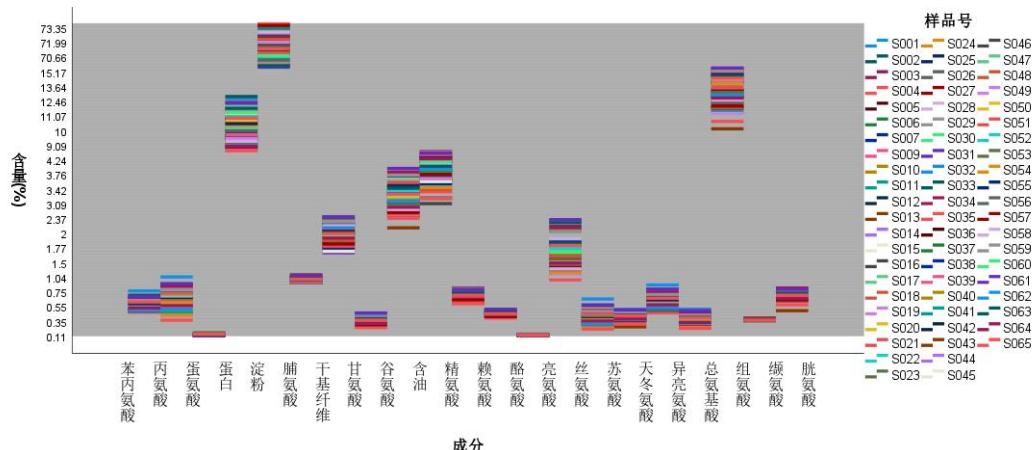


图1玉米种子化学成分指纹图谱

## 2.2 化学计量学分析

### 2.2.1 聚类分析

运用 IBM SPSS 19.0 统计分析软件, 以 65 批不同品种玉米的 22 个化学成分含量作为变量, 采用组间连接聚类方法, 以平方 Euclidean 距离为度量标准进行系统聚类分析<sup>[16-18]</sup>。从聚类结果来看, 65 批不同品种玉米种子样品在 22 种化学成分上高度一致, 但含量有一定差距, 尤其是样品 Y025、Y039、Y040、Y047、Y022、Y054、Y020、Y005、Y026、Y037、Y009、Y041、Y062、Y064、Y029、Y042、Y058、Y024、Y049、Y048、Y033、Y046、Y007、Y053、Y018、Y015、Y056、Y045、Y065、Y012、Y027、Y038、Y043、Y055、Y031、Y003、Y036、Y023、Y051、Y030、Y044、Y004、Y032、Y050、Y014、Y011、Y019、Y010、Y057、Y006、Y035、Y013 的这些玉米种子品种和样品 Y001、Y061、Y034、Y016、Y063、Y052、Y060、Y008、Y028、Y021、Y059、Y017、Y002 的一大类玉米种子品种在 22 种化学成分上存在显著差异性, 经过统计的出样品 Y025、Y039、Y040、Y047、Y022、Y054、Y020、Y005、Y026、Y037、Y009、Y041、Y062、Y064、Y029、Y042、Y058、Y024、Y049、Y048、Y033、Y046、Y007、Y053、Y018、Y015、Y056、Y045、Y065、Y012、Y027、Y038、Y043、Y055、Y031、Y003、Y036、Y023、Y051、Y030、Y044、Y004、Y032、Y050、Y014、Y011、Y019、Y010、Y057、Y006、Y035 属于 P4、P5、P6、P7、P8 的这几类品种中, 而样品 Y001、Y061、Y034、Y016、Y063、Y052、Y060、Y008、Y028、Y021、Y059、Y017、Y002 的品种主要集中在 P1、P3 品种中。进一步分析研究, 样品 Y001、Y061、Y034 和样品 Y016、Y063、Y052、Y060、Y008、Y028、Y021、Y059、Y017、Y002 的这两部分玉米种子的 22 种化学成分明显存在差异, 统计后的发现样品 Y001、Y061、Y034 为 P3 品种, 而样品 Y016、Y063、Y052、Y060、Y008、Y028、Y021、

Y059、Y017、Y002 属于 P1 品种, 需要提到的是样品 Y028 和样品 Y008 的品种为 P6, 说明样品 Y028 和样品 Y008 和 P1 品种的样品具有 22 种化学成分的相似性。同时, 样品 Y025、Y039、Y040、Y047、Y022、Y054、Y020、Y005、Y026、Y037、Y009、Y041、Y062、Y064、Y029、Y042、Y058、Y024、Y049、Y048、Y033、Y046、Y007、Y053、Y018、Y015、Y056、Y045、Y065、Y012、Y027、Y038、Y043、Y055、Y031、Y003、Y036、Y023、Y051、Y030、Y044、Y004、Y032、Y050、Y014、Y011、Y019、Y010、Y057、Y006、Y035 和单一品种的 Y013 的 22 种化学成分差异性较为明显, 统计分析后发现样品 Y025、Y039、Y040、Y047、Y022、Y054、Y020、Y005、Y026、Y037、Y009、Y041、Y062、Y064、Y029、Y042、Y058、Y024、Y049、Y048、Y033、Y046、Y007、Y053、Y018、Y015、Y056、Y045、Y065、Y012、Y027、Y038、Y043、Y055、Y031、Y003、Y036、Y023、Y051、Y030、Y044、Y004、Y032、Y050、Y014、Y011、Y019、Y010、Y057、Y006、Y035 属于 P4、P5、P6、P7、P8 的这几类品种中, 而样品 Y013 为单独品种 P2。更为细化的分析可以明显的得出样品 Y011、Y019、Y010、Y057、Y006、Y035 这一系列的品种的玉米种子和样品 Y025、Y039、Y040、Y047、Y022、Y054、Y020、Y005、Y026、Y037、Y009、Y041、Y062、Y064、Y029、Y042、Y058、Y024、Y049、Y048、Y033、Y046、Y007、Y053、Y018、Y015、Y056、Y045、Y065、Y012、Y027、Y038、Y043、Y055、Y031、Y003、Y036、Y023、Y051、Y030、Y044、Y004、Y032、Y050、Y014、Y011、Y019、Y010、Y057、Y006、Y035 属于 P4、P5、P6、P7、P8 的这几类品种中, 而样品 Y013 为单独品种 P2。更为细化的分析可以明显的得出样品 Y011、Y019、Y010、Y057、Y006、Y035 这一系列的品种的玉米种子和样品 Y025、Y039、Y040、Y047、Y022、Y054、Y020、Y005、Y026、Y037、Y009、Y041、Y062、Y064、Y029、Y042、Y058、Y024、Y049、Y048、Y033、Y046、Y007、Y053、Y018、Y015、Y056、Y045、Y065、Y012、Y027、Y038、Y043、Y055、Y031、Y003、Y036、Y023、Y051、Y030、Y044、Y004、Y032、Y050、Y014、Y011、Y019、Y010、Y057、Y006、Y035 的品种类型主要为 P4, 比较样品 Y025、Y039、Y040、Y047、Y022、Y054、Y020、Y005、Y026、Y037、Y009、Y041、Y062、Y064、Y029、Y042、Y058、Y024、Y049、Y048、Y033、Y046、Y007、Y053、Y018、Y015、Y056、Y045、Y065、Y012、Y027、Y038、Y043、Y055、Y031、Y003、Y036、Y023、Y051、Y030、Y044、Y004、Y032、Y050、Y014 的这一系列的玉米种子的 22 种化学成分差异是完全存在的, 进行分析统计得出样品 Y011、Y019、Y010、Y057、Y006、Y035 的品种类型主要为 P4, 比较样品 Y025、Y039、Y040、Y047、Y022、Y054、Y020、Y005、Y026、Y037、Y009、Y041、Y062、Y064、Y029、Y042、Y058、Y024、Y049、Y048、Y033、Y046、Y007、Y053、Y018、Y015、Y056、Y045、Y065、Y012、Y027、Y038、Y043、Y055、Y031、Y003、

Y036、Y023、Y051、Y030、Y044、Y004、Y032、Y050、Y014 的品种完全不一样，主要属于 P5、P6、P7、P8 几类品种，差异性明显突出。再往下细化分类可以发现样品 Y015、Y056、Y045、Y065、Y012、Y027、Y038、Y043、Y055、Y031、Y003、Y036、Y023、Y051、Y030、Y044、Y004、Y032、Y050、Y014 的这一系列品种的玉米种子和样品 Y025、Y039、Y040、Y047、Y022、Y054、Y020、Y005、Y026、Y037、Y009、Y041、Y062、Y064、Y029、Y042、Y058、Y024、Y049、Y048、Y033、Y046、Y007、Y053、Y018 的一系列品种的玉米种子在 22 种化学成分存在差异，值得指出的是样品 Y015、Y056、Y045、Y065、Y012、Y027、Y038、Y043、Y055、Y031、Y003、Y036、Y023、Y051、Y030、Y044、Y004、Y032、Y050、Y014 主要在品种 P5、P6 范围内，然而样品 Y025、Y039、Y040、Y047、Y022、Y054、Y020、Y005、Y026、Y037、Y009、Y041、Y062、Y064、Y029、Y042、Y058、Y024、Y049、Y048、Y033、Y046、Y007、Y053、Y018 的品种主要集中在 P7、P8 这两类。再进行细化的分析可以发现样品 Y024、Y049、Y048、Y033、Y046、Y007、Y053、Y018 一些列品种和样品 Y025、Y039、Y040、Y047、Y022、Y054、Y020、Y005、Y026、Y037、Y009、Y041、Y062、Y064、Y029、Y042、Y058 一系列品种

同样在 22 种化学成分存在差异，经过统计证实样品 Y024、Y049、Y048、Y033、Y046、Y007、Y053、Y018 为主要 P7 品种，其中 Y049 的品种为 P4 不同于 P7 品种，样品 Y018 的品种是 P1 不同于 P7，说明样品 Y049 和样品 Y018 的 22 种化学成分类似且与 P7 品种有相似性。另外，样品 Y025、Y039、Y040、Y047、Y022、Y054、Y020、Y005、Y026、Y037、Y009、Y041、Y062、Y064、Y029、Y042、Y058 的品种主要为 P8，其中样品 Y054 的品种为 P1，样品 Y009、Y037 的品种分别为品种 P3 和品种 P7，显示出这三个样品的品种虽然不是 P8 品种，但是在 22 种化学成分和 P8 品种具有相似性。同样的可以分析出，样品 Y015、Y056 的玉米种子和样品 Y045、Y065、Y012、Y027、Y038、Y043、Y055、Y031、Y003、Y036、Y023、Y051、Y030、Y044、Y004、Y032、Y050、Y014 的玉米种子品种的 22 种化学成分差异性明显，样品 Y015、Y056 的品种为 P6，样品 Y045、Y065、Y012、Y027、Y038、Y043、Y055、Y031、Y003、Y036、Y023、Y051、Y030、Y044、Y004、Y032、Y050、Y014 主要为 P5 品种，这量大类样品的品种较为集中，并且和 22 种化学成分的关联性较好，表现出品种 P5 和品种 P6 的 22 种化学成分的差异性明显和品种类别高度相关。65 批不同品种玉米样品聚类分析树状图见图 2。

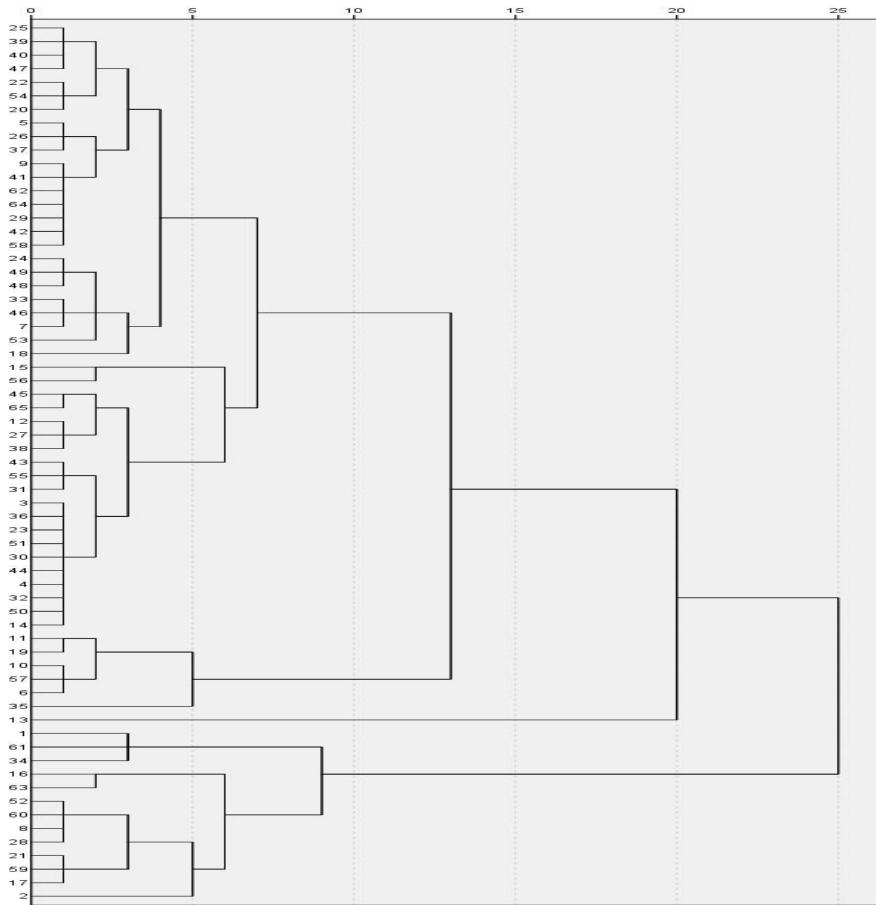


图 2 65 批不同品种玉米种子样品聚类分析结果

## 2.2.2 主成分分析

以主成分的特征根和贡献率作为选择主成分的依据, 将 65 批不同品种玉米种子样品的 22 个主要成分含量作为变量进行因子分析。结果, 特征根大于 1 的 4 个主成分的累积贡献率合计 74.317%, 其中前 3 个累积方

差贡献率为 83.404%, 表明前 3 个主成分因子即可以代表样品 80% 以上的信息; 主成分因子 1、2、3 可作为不同品种玉米种子各成分的评价指标, 适用于主成分分析。主成分因子的特征值和方差贡献率见表 2。

表 2 玉米种子化学成分主成分特征根和贡献率

成分	主成分特征根和贡献率			总方差分析		
	特征根	贡献率%	累积贡献率%	特征根	贡献率%	累积贡献率%
1	12.459	56.632	56.632	12.459	56.632	56.632
2	4.233	19.242	75.874	4.233	19.242	75.874
3	1.657	7.530	83.404	1.657	7.530	83.404
4	1.436	6.530	89.934	1.436	6.530	89.934
5	.786	3.571	93.505			
6	.407	1.852	95.357			
7	.273	1.242	96.599			
8	.206	.935	97.534			
9	.143	.652	98.186			
10	.126	.572	98.758			
11	.103	.466	99.225			
12	.062	.281	99.506			
13	.035	.160	99.666			
14	.030	.138	99.804			
15	.017	.078	99.882			
16	.010	.044	99.925			
17	.007	.032	99.957			
18	.004	.020	99.976			
19	.003	.012	99.988			
20	.002	.007	99.995			
21	.001	.003	99.998			
22	.000	.002	100.000			

将得到的成分矩阵进行正交旋转, 得到 22 个玉米种子主要有机组分在 4 个主成分中的旋转矩阵。结果显示如表 4, 22 个被测成分对主成分均具有较明显的贡献率, 其中蛋白质、天冬氨酸、苏氨酸、丝氨酸、谷氨酸、甘氨酸、丙氨酸、异亮氨酸、亮氨酸、苯丙氨酸以及总氨基酸量贡献率相对较为明显, 对不同玉米种子间内在成分水平的评价具有意义, 同时这些贡献率大的成分主要集中在蛋白质以及氨基酸, 说明不同品种玉米种子中蛋白质和氨基酸的组成比例存在差异, 这些差异也是造成不同品种玉米种子品质和性状差异的主要原因, 也是直接影响其经济价值的重要因素。

表 4 旋转成分矩阵

元素	主成分因子			
	1	2	3	4
蛋白质	.936	-.058	.071	-.091
淀粉	-.817	-.243	-.228	.065
油脂	.476	.126	-.513	.010
天冬氨酸	.933	-.184	.222	.105
苏氨酸	.942	-.227	.002	.082
丝氨酸	.922	-.216	.231	-.138
谷氨酸	.927	-.022	-.287	-.027
甘氨酸	.912	.259	.194	-.097

丙氨酸	.929	-.113	.271	-.173
胱氨酸	.567	.334	-.069	.721
缬氨酸	.860	-.242	-.362	.061
蛋氨酸	-.061	-.305	.545	.718
异亮氨酸	.975	-.130	.066	-.108
亮氨酸	.941	.025	.158	-.198
酪氨酸	-.003	.787	.269	-.040
苯丙氨酸	.916	-.233	.253	-.066
赖氨酸	.550	.769	-.137	.231
组氨酸	.022	.895	.239	-.101
精氨酸	.703	.313	-.521	.312
脯氨酸	-.119	.905	.209	.084
总氨基酸	.958	-.165	-.162	.030
干基纤维	.238	.806	-.158	-.289

## 3 讨论

指纹图谱虽然无法确定被检测到的所有物质所明确的化学组成, 但是从整体上可以表现出被测样品的信息, 对于天然植物样品质量控制具有积极的促进作用。

虽然从玉米种子品种上说, 本次参与实验的 65 批样品涉及的 65 个组合样品, 根据玉米杂交种的母本血缘关系进行分类, 共分为 8 各同系品种类别, 以下用 P1、P2、P3、P4、P5、P6、P7、P8 为代号进行表述,

通过对不同玉米种子的单一理化成分进行分析，其成分含量均较为接近，难以区分其品种区别，为保障玉米种子品种稳定，提升市场竞争力和潜在价值不利。本试验通过对玉米种子蛋白质、淀粉、油脂、干基纤维，以及17种氨基酸成分等22种成分进行近红外光谱法测定，对同一生长区域不同品种玉米种子建立了指纹图谱。相似度评价结果显示，65批不同品种玉米种子样品在22种化学成分上高度一致，但含量有一定差距，尤其是品种P3、品种P5和品种P6，其内在成分与其他样品间存在明显差异。化学计量学分析结果显示，蛋白质和各种氨基酸在特征主成分中具有较大贡献值，可以作为玉米种子品种鉴定的重要参考因素。通过近红外法快速测定化学成分结合指纹图谱技术在玉米种子品种鉴定，可以为张掖玉米种子品种鉴别提供一定的判断依据，同时为进一步建立全面的质量评价体系提供一定基础，进一步为加强张掖市制种玉米产业健康发展提供一定技术支持。

### 参考文献

- [1] 吴敏生, 王守才, 戴景瑞. DNA 指纹图谱技术在品种鉴定和纯度分析上的应用 [J]. 农业生物技术学报, 1998, 6(1) : 51-56.
- [2] 吴敏生, 戴景瑞, 王守才. RAPD 在玉米品种鉴定和纯度分析中的应用 [J]. 作物学报, 1999, 25(4) : 489-493.
- [3] 陈一华, 张超良, 王泽立等. 玉米种子的 DNA 指纹计算机化鉴定 [J]. 应用与环境生物学报, 2000, 6(3) : 223-226.
- [4] 张春庆, 张承毅, 候全智. 玉米苗期田间纯度形态鉴定性状研究 [J]. 种子, 1995, 2: 27—29.
- [5] 杨太兴, 贾希海, 李仁凤. 同工酶电泳技术在品种纯度检验中的应用研究 [J]. 种子, 1991, 6: 1-5.
- [6] 高惠璇. 应用多元统计分析 [M]. 北京: 北京大学出版社, 2005: 69. 吴松霞, 鄢海燕, 韩延超, 等. 基于主成分分析的不同品种茭白品质评价 [J]. 中国食品学报, 2019, 19 (7) : 241-250.
- [7] 焦扬, 折发文, 张娟娟, 等. 基于主成分与聚类分析的甘肃地区产地木耳品质综合评价 [J]. 食品科学, 2019, 40(8): 130-135.
- [8] 仇占南, 张茹阳, 彭明朗, 等. 北京野生软枣猕猴桃果实品质综合评价体系 [J]. 中国农业大学学报, 2017, 22(2): 45-53.
- [9] 颜子曦, 李永慧, 孟德豪, 等. 苦水玫瑰中 49 项营养及活性成分指标分析与评价 [J]. 北京林业大学学报, 2023, 45 (2) : 120-128.
- [10] 杨方良, 张晶, 孙国祥, 等. 中药组方指纹图谱研究方法和思路 [J]. 色谱, 2016, 34(7) : 715-725.
- [11] 刘伟, 张群, 李志坚, 等. 不同品种黄花菜游离氨基酸组成的主成分分析及聚类分析 [J]. 食品科学, 2019, 40(10): 243 - 250.
- [12] LIU Wei, ZHANG Qun, LI Zhijian, et al. Principal component analysis and cluster analysis for evaluating free amino acids of different cultivars of daylily buds [J]. Food Science, 2019, 40(10): 243 - 250.
- [13] 汤丽华, 马雪梅, 张瑶, 等. 基于非靶向代谢组学分析不同品种宁夏枸杞差异性代谢物 [J]. 食品安全质量检测学报, 2022, 13(24): 8083 - 8090.
- [14] TANG Lihua, MA Xuemei, ZHANG Yao, et al. Differential metabolites analysis on different varieties of *Lycium barbarum* L. based on non-targeted metabolomics [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2022, 13(24): 8083 - 8090.
- [15] 华渝教, 谢芬, 周少丹, 等. 基于 HPLC-Q-Exactiv eOrbitrap/MS 技术分析不同剂型太子参的差异化学成分 [J]. 天然产物研究与开发, 2020, 32(2) : 257 - 268.
- [16] HUA Yujiao, XIE Fen, ZHOU Shaodan, et al. Difference of chemical compositions in *Pseudostellariae Radix* with different dosage form by HPLC-Q-Exactive Orbitrap/MS [J]. China Industrial Economics, 2020, 32(2): 257 - 268.
- [17] 贾聪, 芦鑫, 高锦鸿, 等. 基于代谢组学分析不同颜色花生红衣的组成差异 [J]. 食品科学, 2019, 40(19): 46 - 51.
- [18] JIA Cong, LU Xin, GAO Jinhong, et al. Metabolomic analysis of differences in chemical composition of peanut skins with different colors [J]. Food Science, 2019, 40(19): 46 - 51.

作者简介：杨博（1988-），男，工程师，主要从事食品药品检验检测及品质评价。

通讯作者：于喆源

基金项目：2023 年甘肃省市场监督管理局揭榜挂帅项目 (SSCJG-J202304)。

基金项目：2024 年张掖市科技计划项目 (ZY2024JS38)。