DOI: 10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.20250301001
引用格式: 崔丽丽, 郭鸿莹, 赵卉, 等. 杂交天麻与亲本活性成分的量化分析及营养价值综合评价[J]. 食品安全质量检测学报, 2025, 16(12): 287–293.
CUI LL, GUO HY, ZHAO H, *et al*. Quantitative analysis of active components and comprehensive evaluation of nutritional value between hybrid *Gastrodia elata* and its parent varieties [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2025, 16(12): 287–293. (in Chinese with English abstract).

杂交天麻与亲本活性成分的量化分析及营养价值综合评价

崔丽丽[1], 郭鸿莹[1], 赵　卉[1*], 宋　超[1], 任雨贺[1], 沈　畅[1], 冯志伟[2*], 王继阳[2], 苏丽敏[2]

(1. 中国农业科学院特产研究所, 长春　130112; 2. 吉林参王植保科技有限公司, 白山　134500)

摘　要: 目的　量化分析并综合评估杂交天麻及其亲本的活性成分含量和营养价值。**方法**　通过超高效液相色谱法、全自动氨基酸分析仪和杜马斯定氮仪等技术手段, 对杂交天麻及其亲本活性成分含量及营养价值展开量化分析与综合评估, 并借助 SPSS 进行单因素方差分析。**结果**　杂交天麻在活性成分含量上具有显著优势, 例如杂交天麻 WH03 的天麻素与对羟基苯甲醇总量高达 1.082%, 巴利森苷总量为 0.750%, 均显著高于亲本。在营养价值方面, 杂交天麻的氨基酸总量和蛋白质含量同样优于亲本, 其中杂交天麻 WH03 的氨基酸总量为 7.604%, 蛋白质含量达 10.12%。**结论**　本研究建立了基于化学计量学的天麻品质综合评价模式, 揭示了杂交天麻的化学品质改良趋势, 为天麻的品种改良和产业化开发提供了重要的科学依据。

关键词: 杂交天麻; 亲本; 活性成分; 量化分析; 营养价值; 综合评价

Quantitative analysis of active components and comprehensive evaluation of nutritional value between hybrid *Gastrodia elata* and its parent varieties

CUI Li-Li[1], GUO Hong-Ying[1], ZHAO Hui[1*], SONG Chao[1], REN Yu-He[1], SHEN Chang[1], FENG Zhi-Wei[2*], WANG Ji-Yang[2], SU Li-Min[2]

(1. *Institute of Special Wild Economic Animal and Plant, Chinese Academy of Agricultural Scienes, Changchun* 130112, *China*; 2. *Jilin Shenwang Plant Protection Co., Ltd., Baishan* 134500, *China*)

ABSTRACT: Objective　To quantitatively analysis and comprehensively evaluate the active component content and nutritional value of hybrid *Gastrodia elata* and its parent varieties. **Methods**　A combination of ultra performance liquid chromatography, automatic amino acid analyzer and Dumas nitrogen analyzer was employed to conduct a quantitative analysis and comprehensive evaluation of their active component contents and nutritional

收稿日期: 2025-03-01
基金项目: 吉林省科技发展计划项目(20200202188NC)
第一作者: 崔丽丽(1984—), 女, 硕士, 副研究员, 主要研究方向为药用植物资源与质量评价研究。E-mail: cuilili@caas.cn
***通信作者:** 赵卉(1986—), 女, 副研究员, 主要研究方向为检验检测及质量评价研究。E-mail: 308297222@qq.com
冯志伟(1983—), 男, 高级农艺师, 主要研究方向为药用植物植物保护。E-mail: cbsfeng@126.com

values. One-way analysis of variance was performed using SPSS. **Results** The hybrid *Gastrodia elata* exhibited significant advantages in active component content. For instance, the total content of gastrodin and p-hydroxybenzyl alcohol in WH03 reached 1.082%, with a parishin content of 0.750%, both significantly higher than those of the parent varieties. In terms of nutritional value, the total amino acid content and protein content of hybrid *Gastrodia elata* were also superior to those of the parent plants. Specifically, the hybrid *Gastrodia elata* WH03 exhibited a total amino acid content of 7.604% and a protein content of 10.12%. **Conclusion** This study establishes a chemometrics-based comprehensive evaluation model for *Gastrodia elata* quality, revealing the chemical quality improvement patterns of hybrid strains, and provides critical scientific evidence for the genetic improvement and industrial development of *Gastrodia elata*.

KEY WORDS: hybrid *Gastrodia elata*; parent varieties; active components; quantitative analysis; nutritional value; comprehensive evaluation

0 引 言

天麻(*Gastrodia elata*)作为一种传统的药食同源植物, 在医药和食品行业均占据着举足轻重的地位。在医药领域, 天麻所含的天麻素、巴利森苷等活性成分[1–2], 凭借其显著的药用功效, 被广泛应用于治疗头痛、眩晕、失眠等症状[3–6], 且在抗疲劳、预防和治疗慢性疾病方面展现出潜在价值[7], 成为中药方剂和现代神经类药物研发的重要原料。而在食品行业, 天麻因其独特风味和滋补功效备受青睐, 不仅可以直接烹饪食用, 还能加工成天麻口服液、天麻酒等多样化的保健食品[8–9], 满足了人们对健康养生食品的需求。

然而, 不同品种天麻在活性成分含量、口感以及营养成分等方面存在显著差异[10–12], 这给相关产业带来了诸多挑战。这种差异不仅导致产品品质参差不齐, 难以形成稳定的标准和品牌效应, 还增加了采购和质量控制的难度, 严重制约了产业的规模化、标准化发展[13–15]。杂交育种作为一种有效的解决方案, 能够通过整合不同品种的优良性状, 优化活性成分合成路径, 从而培育出活性成分含量更高、品质更优的新品种[16–17]。这不仅有助于提高药品的药效, 还能提升食品的营养价值和品质稳定性, 增强市场竞争力, 对推动天麻产业的可持续发展具有重大意义。

基于此, 本研究旨在系统地比较杂交天麻与传统品种天麻在化学成分及营养价值方面的差异, 深入分析杂交天麻在活性成分、氨基酸和蛋白质含量等方面的优势, 以验证杂交育种提升天麻品质的效果, 为天麻的品种改良和产业化开发提供坚实的科学依据。

1 材料与方法

1.1 供试样品

亲本乌天麻(*Gastrodia elata* f. elata)分别采自云南邵通小草坝(编号 WST)、长白山境内(编号 WJL), 红天麻(*Gastrodia elata* f. glauca)采自陕西丹凤县(编号 HHZ), 通过这些亲本杂交获得的杂交种 WH01、WH02 和 WH03 被用于本研究。

1.2 试剂与仪器

天麻素(生产批号: M11GB148059, 纯度 98%)、对羟基苯甲醇(生产批号: R09D8X50333, 纯度 98%)、巴利森苷 A、B、C、E(生产批号分别是 M09HB177711、F18IB207357、S01GB159666、M20HB178561, 纯度 98%)、香草醇(生产批号: I31D6H8442, 纯度 98%)、18 种氨基酸标准物质(纯度 98%, 上海源叶生物有限公司); 甲醇、盐酸(分析纯, 国药集团化学试剂有限公司); 乙腈(色谱纯, 美国 Sigma 公司)。

ACQUITY UPLC H-Class 超高效液相色谱仪、Waters BEH C_{18} 柱(100 mm×2.1 mm, 1.7 μm)(美国沃特世公司); L-8900 全自动氨基酸分析仪(日本日立公司); N-PRO 杜马斯定氮仪(德国格哈特公司); SW-4 微波消解仪(德国 Berghof 公司); Milli-Q Advantage A10 超纯水器(美国 Millipore 公司); MS204S 电子分析天平(精度 0.1 mg, 瑞士 MettlerToledo 公司); FW100 高速万能粉碎机(天津泰斯特仪器设备有限公司); JP-100ST 超声清洗机(广州市洁盟超声波清洗设备有限公司); TGL-16M 高速离心机(湖南湘仪离心机有限公司)。

1.3 实验方法

1.3.1 活性成分的测定

结合文献方法与国家药典方法[18–20], 采用超高效液相色谱法测定天麻素、对羟基苯甲醇、巴利森苷 A、B、C、E 和香草醇的含量。色谱条件为: 色谱柱为 Waters BEH C_{18} 柱(100 mm×2.1 mm, 1.7 μm), 柱温 40 ℃, 流动相为乙腈(A)-0.1%磷酸水溶液(B), 线性梯度洗脱: 0~1.50 min, 3% A; 1.50~2.35 min, 3%~10% A; 2.35~3.75 min, 10%~12% A; 3.75~5.39 min, 12%~15% A; 5.39~6.89 min, 15% A; 6.89~8.39 min, 15%~25% A; 8.39~8.62 min, 25%~95% A。流

速为 0.3 mL/min；检测波长 220 nm。

样品液制备：称取天麻粉末(过 60 目筛)2.0 g(精确到 0.0001 g)，置于具塞锥形瓶中，加入甲醇 50 mL，称定质量，超声提取(100 W，50 Hz) 2 h，提取液常温放置过夜，超声 2 h，再称定重量，用甲醇补足减失的质量，摇匀，滤过，量取续滤液 2 mL 于 10 mL 容量瓶中用纯水定容，从中取 0.8 mL 溶液用 25%甲醇定容至 10 mL 容量瓶，摇匀，用微孔滤膜(0.22 μm)滤过得待测液，上机测定。每个样品 3 个平行。

1.3.2　氨基酸的测定

利用全自动氨基酸分析仪测定 18 种氨基酸含量，色谱柱规格 4.6 mm×60 mm，填充物为阳离子树脂；进样量 20 μL；泵 1、泵 2 流速 0.1 mL/min；检测波长分别是 570 nm 和 440 nm。

样品液制备：精确称取样品 100 mg (100 目)于水解管中，加入 20 mL 6 mol/L 盐酸，110 ℃烘箱中水解 22 h，取出冷却至室温。取上清液 800 μL 至烧杯中，于 60~70 ℃电热板上干燥，加入 2 mL 0.02 mol/L 盐酸复溶，涡旋混匀，过 0.22 μm 水系滤膜，上机测试。每个样品 3 个平行。

1.3.3　蛋白质的测定

参考 GB 5009.5—2016《食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定》第三法 燃烧法利用杜马斯定氮仪检测蛋白质含量。称取试样 0.05 g(精确到 0.0001 g)，用无氮锡箔纸包裹后用压片机压片待测。主要仪器条件：燃烧温度 980 ℃、还原温度 650 ℃、氧气流量 200 mL/min、氧气因子 1.2 mL/mg。

1.4　数据处理

运用 SPSS 16.0 软件进行单因素方差分析(analysis of variance，ANOVA)，并将显著性水平设定为 $P<0.05$。使用 Excel (2013 版)电子表格制表作图。

2　结果与分析

2.1　活性成分杂交优势

2.1.1　杂交天麻的酚类成分含量变化

依据《中华人民共和国药典》(2020 版)规定，天麻质量评价以天麻素与对羟基苯甲醇的总量为核心指标，法定标准不得低于 0.25%(干燥品)。本研究供试 7 种酚类成分分离效果良好(图 1)，6 个供试品种的检测结果均显著高于药典阈值(表 1)，其中 3 个杂交子代的天麻素含量(0.066%~0.113%)显著高于乌麻亲本 WST 和 WJL，较红麻亲本 HHZ 提升 1.06~1.82 倍。通过遗传相关性分析发现，杂交群体天麻素含量与红麻亲本呈显著正相关(R^2=0.78)，表明杂交子代可能通过基因重组富集了红麻高天麻素合成相关等位基因，促使苯丙氨酸解氨酶(phenylalanine ammonia-lyase，PAL)、酪氨酸羟化酶(tyrosine hydroxylase，TH)等关键酶活性增强，从而优化酚类成分合成通路。

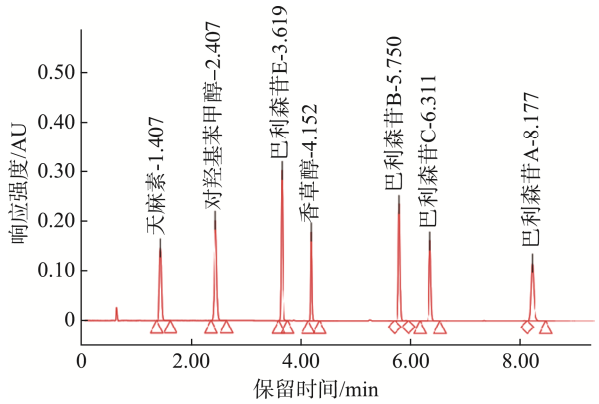


图 1　天麻素等标准溶液色谱图

Fig.1　Chromatogram of gastrodin and other standard solutions

从药食同源物质基础分析，天麻素与对羟基苯甲醇作为酚类活性成分，不仅是药典规定的药效标志物，其抗氧化、神经保护等生物活性亦为功能性食品开发提供了科学依据。以杂交品种 WH03 为例，其天麻素与对羟基苯甲醇总量达 1.082%，较亲本(均值 0.528%)提升 105%，这种高活性成分特征使其在中枢神经调节功能食品(如天麻肽饮料、睡眠改善型膳食补充剂)开发中具有显著优势。

表 1　各品种天麻素与对羟基苯甲醇总量对比(n=3)

Table 1　Comparison of the total content of gastrodin and p-hydroxybenzyl alcohol among different varieties (n=3)

天麻品种	天麻素/%	对羟基苯甲醇/%	总量/%	中国药典达标情况
WST	0.008±0.001^{d}	0.297±0.007^{e}	0.305±0.008^{f}	达标
WJL	0.010±0.001^{d}	0.482±0.015^{d}	0.491±0.016^{d}	达标
HHZ	0.062±0.004^{c}	0.808±0.049^{b}	0.869±0.053^{b}	远超标准
WH01	0.066±0.004^{c}	0.713±0.033^{c}	0.779±0.035^{c}	远超标准
WH02	0.078±0.001^{b}	0.328±0.019^{e}	0.406±0.022^{e}	达标
WH03	0.113±0.001^{a}	0.970±0.023^{a}	1.082±0.024^{a}	远超标准

注：同列不同字母表示组间具有显著性差异($P<0.05$)。

2.1.2 杂交天麻的巴利森苷类成分变异特征

巴利森苷类化合物的含量分布模式存在显著差异(图 2)。HPLC 定量分析表明，红麻亲本(HHZ)的总巴利森苷含量(0.365%±0.015%)高于乌麻亲本，其中云南乌麻(WST)表现出巴利森苷 E 的特异性积累(0.026%±0.007%)，而长白山乌麻(WJL)则以巴利森苷 C 的高含量(0.063%±0.001%)为特征，揭示乌麻种质资源具有巴利森苷异构体组成多样性的代谢特性[21]。杂交子代中，WH03 品系的巴利森苷总量为 0.750%，在巴利森苷 B (0.174%±0.005%)、C (0.082%±0.002%)和 E (0.235%±0.001%) 3 个组分均表现出显著超亲优势，形成多组分协同积累模式，推测其代谢机制可能与杂交诱导的苯丙烷代谢途径中 PAL 和肉桂酸-4-羟化酶(cinnamic acid-4-hydroxylase, C4H)关键酶基因表达上调有关[22]。值得注意的是，WH01 品系的总巴利森苷含量(0.288%±0.002%)呈现亲本间显性遗传特征，但其巴利森苷 E 含量(0.036%±0.001%)高于亲本 WST 和 HHZ，该特异性积累现象可能与亲本杂合位点重组导致的代谢通路分支调控有关。然而，WH02 品系的各组分含量(总含量 0.110%±0.001%)均低于双亲，提示该杂交组合存在代谢负向杂种优势，需通过亲本筛选或杂交组合优化以改善次生代谢产物积累效率。

基于药食两用物质基础的分析，巴利森苷类化合物的多样性不仅为药用多靶点治疗提供物质基础，其抗氧化、抗炎等生物活性也成为功能性食品开发的重要依据。例如，WH03 的高巴利森苷特征，使其在抗氧化型保健食品(如天麻膳食纤维饮品、巴利森苷强化营养片)研发中具有显著优势；而 WH01 的巴利森苷 E 特异性积累，可能通过调节肠道菌群代谢通路(如促进短链脂肪酸合成)，为开发肠道健康功能食品提供新方向。

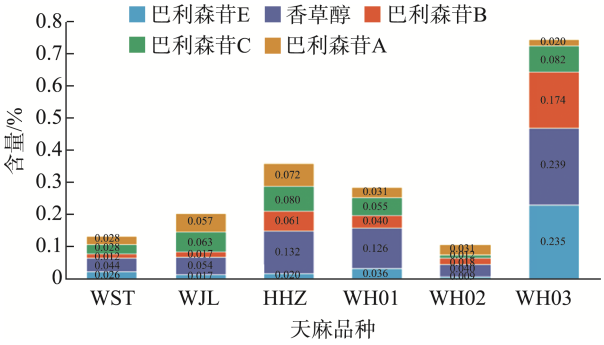


图 2 各品种巴利森苷类化合物组成对比

Fig.2 Comparison of the composition of parishin compounds among different varieties

2.2 氨基酸组成与营养价值

分析结果显示(表 2)，亲本中云南乌麻(WST)氨基酸总量最高(6.603%±0.002%)，显著高于长白山乌麻(WJL) (4.751%±0.015%)与陕西红麻(HHZ) (3.971%±0.022%)。杂交品系 WH01、WH02、WH03 的氨基酸总量分别为 6.665%±0.013%、6.523%±0.021%、7.604%±0.006%，均超越亲本最高值，表明杂交育种对天麻营养品质具有定向强化作用。

表 2 不同天麻品种中氨基酸含量(%, *n*=3)

Table 2 Amino acid content in different varieties of *Gastrodia elata* (%, *n*=3)

氨基酸种类	氨基酸含量					
	WST	WJL	HHZ	WH01	WH02	WH03
天冬氨酸	1.015	0.848	0.504	1.366	0.901	1.438
苏氨酸	0.289	0.197	0.178	0.264	0.299	0.304
丝氨酸	0.450	0.328	0.288	0.459	0.491	0.519
谷氨酸	1.392	0.960	0.855	1.258	1.271	1.431
甘氨酸	0.492	0.346	0.302	0.525	0.526	0.646
丙氨酸	0.427	0.309	0.287	0.430	0.415	0.474
胱氨酸	0.053	0.037	0.042	0.049	0.052	0.059
缬氨酸	0.361	0.268	0.250	0.359	0.403	0.411
蛋氨酸	0.057	0.040	0.035	0.045	0.056	0.051
异亮氨酸	0.238	0.173	0.157	0.227	0.258	0.268
亮氨酸	0.454	0.323	0.278	0.420	0.467	0.500
酪氨酸	0.143	0.048	0.073	0.100	0.178	0.143
苯丙氨酸	0.292	0.212	0.181	0.267	0.294	0.329
赖氨酸	0.339	0.243	0.209	0.326	0.346	0.375
组氨酸	0.081	0.049	0.041	0.071	0.056	0.062
精氨酸	0.135	0.096	0.075	0.124	0.156	0.148
脯氨酸	0.385	0.275	0.216	0.375	0.354	0.445
总量	6.603	4.751	3.971	6.665	6.523	7.604

必需氨基酸是人体无法自行合成，必须通过食物摄取的氨基酸，而谷氨酸和天冬氨酸虽然是非必需氨基酸，但在神经递质合成和能量代谢中起重要作用[21−22]，其总量是衡量天麻营养价值和药用价值的重要指标。从天麻中检测出 17 种氨基酸(图 3)，包括 7 种必需氨基酸(苏氨酸、缬氨酸、蛋氨酸、亮氨酸、苯丙氨酸、赖氨酸和异亮氨酸)、9 种非必需氨基酸(天门冬氨酸、丝氨酸、谷氨酸、脯氨酸、甘氨酸、丙氨酸、酪氨酸、组氨酸、精氨酸)和一个其他游离胱氨酸。不同天麻品种氨基酸组成(图 4)分析显示杂交品系通过亲本基因重组实现了必需氨基酸如赖氨酸、亮氨酸与非必需氨基酸如谷氨酸、脯氨酸的同步优化，表明杂种优势可能源于苯丙烷代谢与氨基酸合成通路的协同调控[17]。

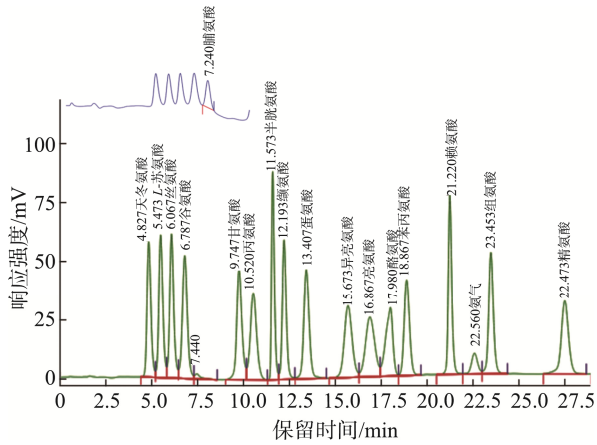
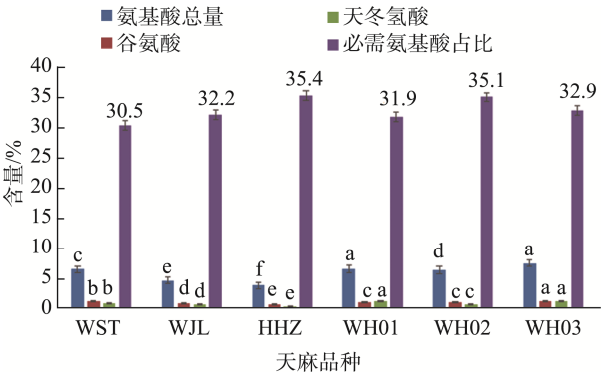


图 3　氨基酸标准溶液谱图

Fig.3　Chromatogram of amino acid standard solution



注：组间不同字母表示组间具有显著性差异(P<0.05)；必需氨基酸包括：苏氨酸、缬氨酸、蛋氨酸、异亮氨酸、亮氨酸、苯丙氨酸、赖氨酸。

图 4　不同天麻品种氨基酸组成与必需氨基酸比例

Fig.4　Amino acid composition and essential amino acid ratios in different varieties of *Gastrodia elata*

天麻中氨基酸积累与次生代谢产物合成存在显著相关性。含量高的氨基酸，特别是必需氨基酸，不仅提升了天麻的营养价值，还可能为活性成分的合成提供物质基础。谷氨酸和天冬氨酸作为氮代谢枢纽，通过提供氨基供体参与天麻素和对羟基苯甲醇的生物合成，其含量升高与活性成分总量呈正相关。氨基酸与天麻素、对羟基苯甲醇等活性成分在神经系统方面的作用相互补充。上述代谢网络的协同作用解释了杂交天麻在氨基酸与活性成分(如巴利森苷类、天麻素)同步提升的现象，提示遗传重组可优化代谢流分配以实现多靶点品质改良。

2.3　蛋白质含量比较及遗传改良效果

蛋白质作为生命活动的主要承担者，其含量的提升对天麻的生长发育、品质和营养价值有着重要意义。陕西红麻(HHZ)、云南乌麻(WST)、长白山乌麻(WJL)的蛋白质含量分别为 6.07%、8.24%和 7.44%，而杂交品系 WH01、WH02 和 WH03 的蛋白质含量高于亲本，分别为 9.60%、9.41%、10.12%，其中 WH03 蛋白质含量较亲本提高 22%~36%。从散点图(图 5)上也可以看出，蛋白质的含量变化与品种之间有较强的相关性(r^2=0.8405)。但氨基酸和活性成分的线性回归 r^2 值较小，只能解释品种间的 12.98%~25.96%，而剩余的近 74%~87%的变异无法用品种差异来解释，可能是其他的引种栽培、环境因素[23−24]导致的显著性差异。

较高的蛋白质含量为天麻活性成分的合成提供更多的酶类等生物催化剂，促进天麻素、巴利森苷类等成分的合成。同时，蛋白质中的氨基酸组成与前面提到的游离氨基酸相互关联，共同影响天麻的营养价值和药用价值。例如，蛋白质中的必需氨基酸组成可能影响天麻在人体营养补充方面的效果，而蛋白质与活性成分之间的协同作用，可能进一步增强天麻在抗氧化、神经保护等方面的功效。

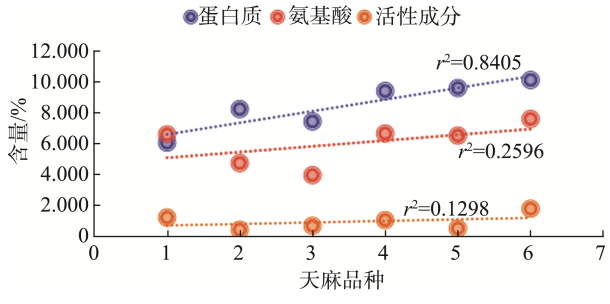


图 5　天麻蛋白质含量与其他成分总量的相关性分析

Fig.5　Correlation analysis between protein content and total amount of other components in *Gastrodia elata*

3　结论与讨论

现有研究表明杂交育种是生产上大幅度提高天麻产量和品质十分重要的途径[25]。本研究通过量化分析杂交天麻(WH01、WH02、WH03)与亲本的活性成分及营养价值，

构建了多指标综合评价体系。结果表明，杂交天麻在酚类成分(天麻素、对羟基苯甲醇、巴利森苷类)、氨基酸总量及蛋白质含量等关键指标上展现显著优势，其中 WH03 的超亲优势尤为突出，其活性成分总量较亲本均值提升 105%，蛋白质含量提高 22%~36%，为高附加值药物及功能性食品开发提供了优质原料。WH01 的成分均衡性与 WH02 的高蛋氨酸特性，则分别为传统中药复方和代谢调节功能食品提供了差异化应用方向。

本研究突破单一成分评价局限，首次系统揭示杂交天麻在药食同源属性上的双重优势：在药用层面，WH03 的天麻素与对羟基苯甲醇协同积累，其总量(1.082%)远超药典标准，结合巴利森苷类成分的多靶点作用，为神经保护药物开发提供了新的物质基础；在营养层面，杂交天麻必需氨基酸占比 30.0%以上，符合联合国粮食及农业组织/世界卫生组织优质蛋白源标准[26]，且谷氨酸等功能性氨基酸的富集，为改善神经系统功能的保健食品研发提供了理论支撑[27−30]。这种“药效-营养”双提升的特性，通过杂交育种得以实现，验证了遗传改良对天麻产业升级的关键作用。

尽管本研究建立了较为完整的化学质量评价体系，但仍存在可拓展空间。例如，当前仅纳入 3 个杂交品种及 3 个亲本，后续研究扩大样本范围，结合地理信息系统分析环境因子对成分积累的影响，构建“基因型-表型-环境”关联模型。

参考文献

[1] 于涵，张俊，陈碧清，等. 天麻化学成分分类及其药理作用研究进展[J]. 中草药, 2022, 53(17): 5553–5564.
YU H, ZHANG J, CHEN BQ, *et al*. Research progress on chemical composition classification and pharmacological effects of *Gastrodia elata* [J]. Chinese Traditional and Herbal Drugs, 2022, 53(17): 5553–5564.

[2] 段昊，闫文杰. 天麻生物活性成分及功效研究进展[J]. 食品科学, 2023, 44(17): 332–340.
DUAN H, YAN WJ. Research progress on bioactive components and efficacy of *Gastrodia elata* [J]. Food Science, 2023, 44(17): 332–340.

[3] 于雪，胡文忠，姜爱丽，等. 天麻的活性成分及功能性研究进展[J]. 食品工业科技, 2016, 37(8): 392–395, 399.
YU X, HU WZ, JIANG AIL, *et al*. Research progress on active components and functionality of *Gastrodia elata* [J]. Science and Technology of Food Industry, 2016, 37(8): 392–395, 399.

[4] 全毅恒，上官晨虹，陈琛. 天麻中酚类成分对心脑血管疾病的药理作用研究进展[J]. 中草药, 2022, 53(14): 4582–4592.
QUAN YH, SHANGGUAN CH, CHEN C. Research progress on pharmacological effects of phenolic components in *Gastrodia elata* on cardiovascular and cerebrovascular diseases [J]. Chinese Traditional and Herbal Drugs, 2022, 53(14): 4582–4592.

[5] 张成宸，石京山. 天麻的酚类成分及其中枢神经药理作用研究进展[J]. 中药药理与临床, 2019, 35(2): 167–174.
ZHANG CC, SHI JS. Research progress on phenolic components and their central nervous system pharmacological effects in *Gastrodia elata* [J]. Pharmacology and Clinics of Chinese Materia Medica, 2019, 35(2): 167–174.

[6] 马翠霞. 天麻改善睡眠有效部位化学成分及其活性研究[D]. 长春: 长春中医药大学, 2020.
MA CX. Research on chemical components and activities of the sleep - improving effective part of *Gastrodia elata* [D]. Changchun: Changchun University of Chinese medicine, 2020.

[7] XIAO G, TANG R, YANG NCY. Review on pharmacological effects of gastrodin [J]. Archives of Pharmacal Research, 2023, 46(9/10): 744–770.

[8] 薛慧. 天麻若干保健功能的研究进展(综述)[J]. 食药用菌, 2015, 23(2): 92–94.
XUE H. Research progress on several health functions of *Gastrodia elata* (review) [J]. Edible and Medicinal Mushrooms, 2015, 23(2): 92–94.

[9] 王勇，杜灵芝. 中药天麻在保健食品中的应用[J]. 中国食品, 2021(24): 144–145.
WANG Y, DU LZ. Application of *Gastrodia elata* in health foods [J]. China Food, 2021(24): 144–145.

[10] 韩春妮，彦汉文，吴盛友，等. 云南昭通天麻三种变型中四个成分的含量比较研究[J]. 云南中医中药杂志, 2014, 35(7): 62–64.
HAN CN, YAN HW, WU SY, *et al*. Comparative study on four components in three forms of *Gastrodia elata* from Zhaotong, Yunnan [J]. Yunnan Journal of Traditional Chinese Medicine and Materia Medica, 2014, 35(7): 62–64.

[11] 柳立新，单锋，季婷婷，等. 大别山三个主产区野生及栽培天麻的 8 个主要成分含量比较[J]. 井冈山大学学报(自然科学版), 2022, 43(3): 21–26.
LIU LX, SHAN F, JI TT, *et al*. Comparison of eight main components in wild and cultivated *Gastrodia elata* from three main producing areas in Dabie Mountains [J]. Journal of Jinggangshan University (Natural Science Edition), 2022, 43(3): 21–26.

[12] 王庆，李丹丹，陈艾萌，等. 西南不同产区 3 种天麻变型主要化学成分含量比较[J]. 中草药, 2018, 49(11): 2646–2652.
WANG Q, LI DD, CHEN AIM, *et al*. Comparison of main chemical components in three forms of *Gastrodia elata* from different producing areas in Southwest China [J]. Chinese Traditional and Herbal Drugs, 2018, 49(11): 2646–2652.

[13] 张瑞，赵仁杰，徐雅娟，等. 吉林省天麻产业发展现状及对策建议[J/OL]. 特产研究, 1–7. [2025-02-15]. DOI: 10.16720/j.cnki.tcyj. 2024.255
ZHANG R, ZHAN RJ, XU YJ, *et al*. Current status and countermeasures for *Gastrodia elata* industry development in Jilin Province [J/OL]. Specialty Research, 1–7. [2025-02-15]. DOI: 10.16720/j.cnki.tcyj. 2024.255

[14] 丁铃，周涛，吴桃生，等. 天麻产区变迁与产业发展现状及建议[J/OL]. 中药材, 2025(1): 1–7. [2025-02-15]. DOI: 10.13863/j.issn1001-4454.2025.01.001
DING L, ZHOU T, WU TS, *et al*. Changes in producing areas and development status of *Gastrodia elata* industry with suggestions [J/OL]. Journal of Chinese Medicinal Materials, 2025(1): 1–7. [2025-02-15]. DOI: 10.13863/j.issn1001-4454.2025.01.001

[15] 刘天睿，陈向东，王忠巧，等. 天麻研究进展及产业发展建议[J]. 中国

现代药, 2020, 22(4): 647–651.
LIU TR, CHEN XD, WANG ZQ, *et al*. Research progress and industrial development suggestions for *Gastrodia elata* [J]. Modern Chinese Medicine, 2020, 22(4): 647–651.

[16] 邓晶晶, 王传华. 天麻生态型及“杂交品种”的生物学和化学特征研究进展[J]. 中药材, 2017, 40(11): 2726–2729.
DENG JJ, WANG CH. Research progress on biological and chemical characteristics of ecological types and “hybrid varieties” of *Gastrodia elata* [J]. Journal of Chinese Medicinal Materials, 2017, 40(11): 2726–2729.

[17] 梁彤. 天麻优良杂交组合筛选及繁育技术研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2020.
LIANG T. Screening of excellent hybrid combinations and breeding techniques of *Gastrodia elata* [D]. Yangling: Northwest A&F University, 2020.

[18] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典(2020 年版)[M]. 北京: 中国医药科技出版社, 2020.
Chinese Pharmacopoeia Commission. Pharmacopoeia of the people’s republic of China (2020 edition) [M]. Beijing: China Medical Science Press, 2020.

[19] 王庆, 李丹丹, 潘芸芸, 等. 西南地区三种天麻变型巴利森苷类成分含量比较[J]. 天然产物研究与开发, 2018, 30(9): 1575–1580.
WANG Q, LI DD, PAN YY, *et al*. Comparison of parishin content in three forms of *Gastrodia elata* from Southwest China [J]. Natural Product Research and Development, 2018, 30(9): 1575–1580.

[20] MELDRUM BS. Glutamate as a neurotransmitter in the brain: Review of physiology and pathology [J]. The Journal of Nutrition, 2000, 130(4), 1007S–1015S.

[21] ZHOU Y, DANBOLT NC. Glutamate as a neurotransmitter in the healthy brain [J]. Journal of Neural Transmission, 2014, 121(8): 799–817.

[22] 刘慧. 蛋白质营养价值与加工修饰研究进展[J]. 安徽农业科学, 2014, 42(29): 10313–10315.
LIU H. Research progress on nutritional value and processing modification of proteins [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2014, 42(29): 10313–10315.

[23] 黄维金, 梁育凡, 唐丹, 等. 引种栽培对天麻有效成分及元素含量的影响[J]. 食品工业科技, 2025, 46(07): 283–290.
HUANG WJ, LIANG YF, TANG D, *et al*. Influence of introduction and cultivation on the content of active ingredients and elements in gastrodia elata [J]. Science and Technology of Food Industry, 2025, 46(7): 283−290.

[24] 孙皓迪, 康传志, 杨亚玲, 等. 不同产地加工方式对天麻质量的影响[J]. 云南农业大学学报(自然科学), 2024, 39(6): 113–120.
SUN HD, KANG CZ, YANG YL, *et al.* Effect of different origin processing on quality of *Gastrodia elata* [J]. Journal of Yunnan Agricultural University (Natural Science), 2024, 39(6): 113−120.

[25] 段宁. 天麻主要性状的杂种优势分析[J]. 食用菌, 2023(2): 17.
DUAN N. Analysis of heterosis in main traits of *Gastrodia elata* [J]. Edible Fungi, 2003(2): 17.

[26] 王丽, 杨天梅, 石瑶, 等. 蜜环菌人工菌棒基质碳氮比对乌天麻产量及营养品质的影响[J]. 食品安全质量检测学报, 2024, 15(8): 50–57.
WANG L, YANG TM, SHI Y, *et al*. Effects of *Armillaria* artificial stick substrate formula C:N on the yield and nutritional quality of *Gastrodia elata* [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2024, 15(8): 50–57.

[27] 万静, 丁铃, 谌文元, 等. 天麻化学成分的提取及其在保健食品中的应用[J]. 饮料工业, 2025, 28(1): 69–73.
WAN J, DING L, SHEN WY, *et al*. Extraction of chemical constituents from *Gastrodia elata* and its application in health food [J]. Beverage Industry, 2025, 28(1): 69–73.

[28] 张运朝, 王红锦. 保健食品中食药同源物质的应用——以天麻和枸杞子为例[J]. 中国食品工业, 2024(20): 110–112.
ZHANG YC, WANG HJ. Application of food and medicine homologous substances in health food: Taking gastrodia and lycium as examples [J]. China Food Industry, 2024(20): 110–112.

[29] 段昊, 周亚西, 周士琦, 等. 天麻在我国保健食品中的应用[J]. 食品工业科技, 2023, 44(9): 403–412.
DUAN H, ZHOU YX, ZHOU SQ, *et al*. Application of Gastrodia elata in functional food in China [J]. Science and Technology of Food Industry, 2023, 44(9): 403–412.

[30] 邓颖颖, 吴伟都, 陈妮, 等. 含天麻保健食品配方应用规律研究[J]. 饮料工业, 2023, 26(3): 72–78.
DENG YY, WU WD, CHEN N, *et al*. Study on formula application of *Gastrodia rhizoma* health food [J]. Beverage Industry, 2023, 26(3): 72–78.

(责任编辑：安香玉　于梦娇)