

金银花营养品质评价体系的构建

梁慧珍^{1,2}, 谭政委¹, 余永亮¹, 杨红旗¹, 许兰杰¹, 杨青¹, 李春明¹, 董薇¹,
李磊¹, 鲁丹丹¹, 安素妨¹

¹河南省农业科学院芝麻研究中心 郑州 450002

²河南省农业科学院西峡分院 河南西峡 474550)

摘要 构建金银花营养品质评价体系,对筛选和发掘金银花优异资源及金银花药食同源综合利用具有重要意义。本研究以 138 份不同产地的金银花为试验材料,采用高效液相色谱法测定金银花中的绿原酸、芦丁、木犀草苷、异绿原酸 A、异绿原酸 C、木犀草素的含量;采用紫外分光光度法测定和计算金银花中总黄酮的含量。采用熵权法、灰色关联度分析和主成分分析建立金银花营养品质综合评价函数,通过概率分布建立金银花营养品质综合评分标准。结果表明,138 份参试材料的 7 种营养成分含量各有差异,变异系数为 8.32%~71.23%。7 种成分均受环境的影响,然而影响程度不同。相关性分析表明,木犀草苷与绿原酸和芦丁均表现出极显著正相关;异绿原酸 A 与异绿原酸 C 表现出极显著正相关;木犀草素与异绿原酸 A 和异绿原酸 C 均表现出极显著负相关;总黄酮与异绿原酸 A 和异绿原酸 C 均表现出极显著正相关,与木犀草素表现出极显著负相关。PCA 将 7 个营养组分指标简化为 3 个主成分因子,PC1 包括异绿原酸 A、异绿原酸 C 和木犀草素;PC2 包括绿原酸和木犀草苷;PC3 包括芦丁和总黄酮。3 个主成分贡献率分别为 44.339%,23.930%和 18.382%,累计贡献率为 86.651%。在此基础上,建立了金银花营养品质综合评价函数和金银花营养品质综合评分 6 级标准。利用评价体系对金银花资源营养品质进行综合分析,可以得到更加客观的营养评价结果,为筛选营养品质最优的金银花材料提供依据。

关键词 金银花;营养品质;多元统计分析;灰色关联度分析;评价体系

文章编号 1009-7848(2022)07-0248-08 **DOI:** 10.16429/j.1009-7848.2022.07.025

金银花(*Lonicera japonica* Thunb.)为忍冬科忍冬属植物^[1],是我国传统的大宗药材,也是我国重点管理的名贵中药材,同时又是食品物质,被国家卫健委列入“药食同源目录(2018)”^[2]。其主要成分有挥发油类、有机酸类和黄酮类等,具有广谱抗菌,疏散风热,清热解毒,保肝利胆等功效^[3-4]。绿原酸(Chlorogenic acid)是金银花最有效的成分,具有抗病毒、抗氧化、抗肿瘤、降血糖等显著功效^[5-6]。河南省和山东省是金银花主产区,河南密银花、封丘金银花、山东金银花均为我国道地金银花产品,在国内外享有盛誉,其药用和营养健价值越来越

受到国家和地方政府、科研机构的重视,对金银花品质的要求也越来越高,然而,不同产地的金银花品质存在差异^[7]。近年来,国家大力推进乡村振兴和精准扶贫政策,金银花产业逐渐兴起,市场价格出现波动,同时,金银花花期采摘机械化程度不高,劳动力需求量较大,必然导致金银花市场风险,需要细分市场的需求,为实现供给侧改革需要,筛选营养品质最优的金银花材料,定向培育优质金银花新品种,以满足不同的市场需求。建立金银花营养品质评价体系具有重要的现实意义。目前,对植物营养品质的评价体系,主要集中在香菇^[8]、生姜^[9]、番茄^[10]、苹果^[11]、桑^[12]和桃子^[13]、菜籽粕^[14]、赤松^[15]、新疆干果^[16]等,对金银花营养品质评价体系的报道较少。本研究以 138 份不同产地的金银花资源为试验材料,采用高效液相色谱法(High-performance liquid chromatography,HPLC)和紫外分光光度法(Ultraviolet spectrophotometry)测定金银花 7 种营养物质——绿原酸(Chlorogenic acid, C)、芦丁(Rutin, R)、木犀草苷(Luteoloside, LS)、异绿原酸 A(Isochlorogenic acid A, IA)、异绿原

收稿日期: 2021-07-21

基金项目: 国家现代农业产业技术体系建设专项(CARS-21);国家农业科研杰出人才及其创新团队(农财发(2016)45号);河南省药用植物遗传改良创新型科技团队;河南省科技攻关计划项目(182102310062);河南省重大科技专项(181100110300);河南省农业科学院创新创意项目(2020CX03)

作者简介: 梁慧珍(1968—),女,博士,研究员
E-mail: lhzh66666@163.com

酸 C (Isochlorogenic acid C, IC)、木犀草素 (Luteolin, LI) 和总黄酮 (Flavonoids, F) 的含量。采用 SPSS 20.0 软件进行主成分分析 (Principal component analysis, PCA) 和相关分析, 通过熵权法 (The entropy weight method, EWM)、灰色关联度分析 (Grey relation analysis, GRA) 和主成分分析建立金银花营养品质综合评价函数, 通过概率分布建立金银花营养品质综合评分标准。评价体系将为金银花的综合利用、优异金银花种质筛选、品质改良和新品种选育提供理论参考。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

材料: 138 份金银花干燥花蕾样品, 来自河南省现代农业科技试验示范基地 (113°42'24"E, 35°00'36"N)。这些试验材料原产地分别为: 河南新密 (HNXM, 试验编号 01-06)、河南封丘 (HNFQ, 试验编号 07-14)、河南原阳 (HNY, 试验编号 15-56)、山东平邑 (SDPY, 试验编号 57-66)、山东日照 (SDRZ, 试验编号 67-76)、山东济宁 (SDJN, 试验编号 77-86)、河北巨鹿 (HBJL, 试验编号 87-92)、山西临汾 (SXL, 试验编号 93-100)、甘肃宕昌 (GSTC, 试验编号 101-138)。

试剂: 对照品绿原酸 (Chlorogenic acid), 日本 TCL; 芦丁 (Rutin)、木犀草苷 (Luteoloside)、木犀草素 (Luteolin), 国药试剂; 异绿原酸 A (Isochlorogenic acid A)、异绿原酸 C (Isochlorogenic acid C), 成都曼思特生物科技有限公司; 色谱纯甲醇 (CH₃OH)、乙醇 (C₂H₅OH)、乙腈 (C₂H₃N), 生工生物工程上海 (股份) 有限公司; 无水三氯化铝 (AlCl₃)、亚硝酸钠 (NaNO₂)、氢氧化钠 (NaOH) 均为分析纯级, 天津市风船化学试剂科技有限公司; 纯净水 (H₂O), 杭州娃哈哈集团。

1.2 仪器及设备

Agilent/安捷伦 1260 高效液相色谱仪, 美国安捷伦公司; KQ3200DE 数控超声波清洗器, 昆山超声仪器有限公司; UV-3200 紫外可见分光光度计, 海美谱达仪器有限公司。

1.3 方法

1.3.1 金银花活性成分测定 参照谭政委等^[7]和李森等^[17]的方法, 采用高效液相色谱法 (HPLC) 测

定金银花的化学成分。

1.3.1.1 色谱条件 色谱柱: Agilent ZORBAX Eclipse Plus C18 柱 (250 mm×4.6 mm, 5 μm)。流动相: 乙腈 C₂H₃N (B)-0.3% 磷酸水溶液 (A)。梯度洗脱: 0~11 min, 82%~90% A, 11~30 min, 80%~82% A; 30~40 min, 80% A; 40~50 min, 75%~80% A; 50~60 min, 70%~75% A。检测波长: 348 nm; 体积流量: 1.0 mL/min; 进样量: 10 μL; 柱温: 30 °C。

1.3.1.2 混合对照品和供试品溶液的制备 混合对照品溶液: 分别精密称取绿原酸 (Chlorogenic acid)、芦丁 (Rutin)、木犀草苷 (Luteoloside)、异绿原酸 A (Isochlorogenic acid A)、异绿原酸 C (Isochlorogenic acid C) 和木犀草素 (Luteolin) 对照品, 放置于 10 mL 棕色容量瓶中, 加入 70% 的甲醇溶液溶解、定容, 得到质量浓度分别为 0.646, 0.290, 0.400, 2.980, 0.100, 0.190 mg/mL 的混合对照品溶液。

供试品溶液: 将烘干后的金银花样品进行粉碎、过筛, 称取 0.5 g 样品粉末置于三角瓶中, 加入 25 mL 甲醇溶液 (体积分数 70%) 摇动均匀, 采用频率 40 kHz, 功率 150 W 进行超声处理 40 min, 摇匀后过滤备用。

1.3.1.3 精密度试验 取同一混合标准品溶液, 按照 1.3.1.2 节的样品溶液制备方法将所得溶液经 0.22 μm 滤膜过滤, 连续进样 6 次, 按照每次进样 10 μL 进行测定, 记录峰面积。经计算峰面积的相对标准偏差 (RSD) 分别为 0.35%, 0.51%, 0.29%, 0.17%, 1.31%, 0.39%, 试验精密度良好。

1.3.1.4 重复性试验 取同一批金银花样品 6 份, 按 1.3.1.2 节的样品溶液制备方法制备, 按照每次进样 10 μL 进行测定, 记录峰面积。经计算 RSD 分别为 0.62%, 0.28%, 1.24%, 0.47%, 1.07%, 2.04%, 试验重复性良好。

1.3.1.5 稳定性试验 取同一批金银花样品 6 份, 按 1.3.1.2 节的样品溶液制备方法制备, 按 1.3.1.1 节的色谱条件检测, 分别于 0, 4, 8, 16, 24, 32 h, 每次进样 10 μL 进行测定, 记录峰面积。经计算 RSD 分别为 0.65%, 2.28%, 2.23%, 0.67%, 1.52%, 2.81%, 试验稳定性良好。

1.4 总黄酮含量的测定

参照樊深等^[18]的方法, 用紫外分光光度计法

(Ultraviolet spectrophotometry)测定和计算金银花提取物的总黄酮含量。

1.4.1 金银花提取液的制备 将烘干后的金银花样品粉碎、过筛后,称取样品粉末 0.25 g,加入 25 mL 乙醇(体积分数 50%),进行超声处理(温度 50 ℃,频率 40 kHz,功率 150 W,时间 35 min)后过滤备用。

1.4.2 金银花总黄酮的测定 以芦丁(Rutin)为标准样,采用紫外分光光度计法(Ultraviolet spectrophotometry)在 510 nm 波长处比色定量测定金银花总黄酮含量。操作步骤为:称取芦丁(Rutin)0.0207 g(温度 120 ℃干燥处理),用为 70%的甲醇(CH₃OH)溶液定容至 100 mL,获得质量浓度为 0.227 mg/mL 的标准应用液。分别吸取 0,0.5,1.0,1.5,2.0,2.5 mL 标准应用液放置于 6 支试管中,加入 30%的乙醇(C₂H₅OH)溶液至 5 mL,然后再加入 0.3 mL 5%的亚硝酸钠(NaNO₂)溶液,混合均匀后静置 6 min,然后加入 0.3 mL 10%的三氯化铝(Al₂O₃)溶液,混合均匀后静置 6 min,然后再加入 4 mL 浓度为 1 mol/L 的氢氧化钠(NaOH)溶液,再加入 0.4 mL 水,混合均匀后静置 15 min,测定吸光度(波长 510 nm),计算总黄酮含量。

1.5 数据分析

1.5.1 统计分析 采用 SPSS 20.0 软件 Duncan's 方法进行显著性分析($P < 0.05$ 表示差异显著);采用 Excel 2018 进行数据整理和相关分析。

1.5.2 灰色关联模型分析 参照高琦等^[19]的灰色关联模型,通过数据无量纲化,消除各量纲的指数差异,计算参考序列与比较序列的灰色关联系数。采用熵权法^[20]计算加权关联度。熵权法、灰色关联分析与主成分分析相结合,建立金银花营养品质综合评价函数。

$$\xi_n(K) = [\Delta_n(i)_{\min} + \xi \Delta_n(i)_{\max}] / [\Delta_n(i) + \xi \Delta_n(i)_{\max}] \quad (1)$$

公式(1)中, $\xi_n(K)$ ——各项指标灰色关联系数; ξ ——分辨系数,本研究取值 0.5。

$$X_i = \frac{1}{n} \sum_1^n \omega \xi_i(k) \quad (2)$$

公式(2)中, X_i ——加权关联度; n ——指标个数; ω ——加权系数; $\xi_i(k)$ ——关联系数。

$$\omega = \frac{E_j}{\sum_1^n E_j} \quad (3)$$

公式(3)中, ω ——加权系数; n ——指标个数; E_j ——指标贡献率。

2 结果与分析

2.1 不同产地金银花营养成分分析

来自不同地区的 138 个参试材料绿原酸(Chlorogenic acid, C)、木犀草苷(Luteoloside, LS)、芦丁(Rutin, R)、异绿原酸 A(Isochlorogenic acid A, IA)、异绿原酸 C(Isochlorogenic acid C, IC)、木犀草素(Luteolin, LI)和总黄酮(Flavonoids, F)含量 7 个营养成分的变异特征如表 1 所示。不同产地金银花营养成分总体上差异较大,变异系数为 8.32%~71.23%。除 F 相对不大之外(8.32%),其余 5 个成分的变异系数为 23.32%~71.23%,相对较大。特别是 LI 变异最大,达到 71.23%。其中,6 个成分中,HNXM 产区 C 和 F 2 个成分含量最高,分别达到 14.654 mg 和 0.681 mg/mL,LS 成分含量最低,为 0.456 mg;GSTC 产区 R、LS、LI 3 个成分含量最高,分别达到 0.745,0.886,0.330 mg,C 和 F 2 个成分含量最低,分别为 10.112 mg 和 0.601 mg/mL;HNYY 产区 IA、TC 2 个成分含量最高,分别达到 25.670 mg 和 1.784 mg;SDRZ 产区 R、IC 2 个成分含量最低,分别为 0.059 mg 和 1.127 mg;SDJN 和 HBJL 产区分别在 IA 和 LI 2 个成分含量最低,分别为 15.089 mg 和 0.084 mg。显著性分析表明,C 在 HNXM、HNFQ、HNYY 产区含量差异显著且均与 SXLF、GSTC 产区含量差异显著;R 在 GSTC、SXLF、SDRZ 含量差异显著且均与 HNXM、HNFQ 产区含量差异显著;LS 在 GSTC、SXLF、HBJL、HNXM 产区含量差异显著;IA 在 HNYY 与 SDPY、SDRZ、SDJN 产区含量差异显著;IC 在 HNYY 与 SDPY、SDRZ、SDJN、HBJL 产区含量差异显著;LI 在 SDLN、GSTC 含量差异显著且均与 HNYY、HNLJ、SXLF 产区含量差异显著;F 在 HNXM、SDJN 含量差异显著且均与 HBJL、GSTC 含量差异显著。说明这 7 种成分均受到环境的影响,而影响程度各有不同。该研究结果对于评价不同产地金银花各营养成分含量具有重要的参考价值,有利于根据市场需要进行定向选择,也可以为育种家选育专用型新品种提供产区参考。

2.2 不同产地金银花营养成分相关性分析

相关性分析中通过相关系数比较各性状间的显著性和密切程度。植物代谢过程中,往往存在一定的相关性,推动了植物性状的直观分析和化学成分合成代谢分析的进程^[21]。金银花各营养成分

间的相关系数详见表 2。结果表明,LS 与 C 和 R 含量、IA 与 IC 含量、F 与 IA 和 IC 含量表现出极显著正相关;LI 与 IA 和 IC 表现出极显著负相关,F 与 LI 表现出极显著负相关。说明金银花不同营养成分间存在一定的相关性。

表 1 不同品系金银花内在成分含量结果

Table 1 Results of internal component content in different lines of honeysuckle

产地	C/mg	R/mg	LS/mg	IA/mg	IC/mg	LI/mg	F/mg·mL ⁻¹
HNXM	14.654 ± 2.635 ^a	0.484 ± 0.100 ^c	0.456 ± 0.070 ^c	24.755 ± 4.872 ^{ab}	1.524 ± 0.314 ^{abc}	0.106 ± 0.006 ^{bc}	0.681 ± 0.017 ^a
	13.418 ± 0.858 ^a	0.460 ± 0.039 ^c	0.478 ± 0.069 ^{bc}	23.114 ± 1.734 ^{abc}	1.430 ± 0.075 ^{abcd}	0.098 ± 0.009 ^{bc}	0.659 ± 0.072 ^{ab}
HNYY	13.403 ± 2.851 ^a	0.517 ± 0.126 ^{bc}	0.474 ± 0.113 ^{bc}	25.670 ± 7.69 ^a	1.748 ± 0.470 ^a	0.092 ± 0.020 ^c	0.616 ± 0.018 ^{bc}
	12.459 ± 1.083 ^{abc}	0.654 ± 0.081 ^{ab}	0.542 ± 0.076 ^{bc}	19.362 ± 4.413 ^{bcd}	1.358 ± 0.238 ^{bcd}	0.105 ± 0.026 ^{bc}	0.635 ± 0.034 ^{abc}
SDPY	12.096 ± 2.635 ^{abc}	0.059 ± 0.005 ^d	0.476 ± 0.065 ^{bc}	18.236 ± 3.415 ^{cd}	1.127 ± 0.227 ^d	0.096 ± 0.007 ^{bc}	0.612 ± 0.008 ^{bc}
	12.745 ± 4.404 ^{ab}	0.584 ± 0.071 ^{bc}	0.471 ± 0.106 ^{bc}	15.089 ± 6.379 ^d	1.177 ± 0.359 ^{cd}	0.151 ± 0.056 ^b	0.667 ± 0.013 ^a
HNJL	12.526 ± 2.567 ^{abc}	0.518 ± 0.501 ^{bc}	0.584 ± 0.204 ^b	22.161 ± 2.504 ^{abc}	1.239 ± 0.176 ^{cd}	0.084 ± 0.018 ^c	0.602 ± 0.016 ^c
	10.635 ± 0.852 ^{bc}	0.477 ± 0.055 ^c	0.460 ± 0.049 ^c	20.266 ± 1.804 ^{abcd}	1.500 ± 0.178 ^{abc}	0.093 ± 0.007 ^c	0.652 ± 0.060 ^{ab}
SXLG	10.112 ± 2.350 ^c	0.745 ± 0.127 ^a	0.882 ± 0.124 ^a	24.751 ± 0.245 ^{ab}	1.713 ± 0.351 ^{ab}	0.330 ± 0.095 ^a	0.601 ± 0.026 ^c
	CV/%	23.32	40.33	35.20	27.34	26.60	71.23

注:同列不同小写字母代表差异显著(P<0.05)。

表 2 金银花营养成分相关性分析

Table 2 Correlation analysis of nutritional components in honeysuckle

	C	R	LS	IA	IC	LI	F
C	1						
R	0.068	1					
LS	0.663**	0.446*	1				
IA	-0.084	0.132	0.173	1			
IC	-0.015	0.275	0.133	0.825**	1		
LI	0.052	0.089	-0.295	-0.813**	-0.626**	1	
F	0.177	-0.193	0.122	0.678**	0.639**	-0.564**	1

注:**表示按双侧检测,0.01 水平相关性极显著;*表示按双侧检测,0.05 水平相关性显著。

表 3 各主要性状主成分的因子载荷和贡献率

Table 3 Factor load and contribution rate of principal components of main characters

成分	C	R	LS	IA	IC	LI	F	特征值	贡献率/ %	累计 贡献率/%
第 1 主成分	-0.055	-0.022	0.009	0.310 [▲]	0.282 [▲]	-0.281 [▲]	0.263	3.104	44.339	44.339
第 2 主成分	0.608 [▲]	-0.048	0.470 [▲]	-0.086	-0.097	-0.014	0.132	1.675	23.930	68.270
第 3 主成分	-0.197	0.767 [▲]	0.186	0.090	0.199	0.077	-0.310 [▲]	1.287	18.382	86.651

注:▲表示指标在各因子中的最大绝对值。

2.3 金银花营养品质综合评价体系的建立

2.3.1 金银花营养成分因子分析 本研究检测了金银花 7 个营养成分的含量,变量数量较多,相互间关系比较复杂。通过主成分分析,把多个指标降维成少数几个综合指标^[2]。运用 SPSS 20.0 软件对参试金银花样品 7 个营养成分测定结果进行主成分分析。依据信息量损失 $\leq 15\%$ 、累计贡献率 $> 85\%$ 的原则,计算出主成分因子载荷和贡献率,详见表 3。方差贡献率结果表明,前 3 个主成分分别为 44.339%, 23.930%, 18.382%, 累计贡献率为 86.651%。这 3 个主成分基本上可以还原色谱信息,分别定义为 PC1、PC2、PC3。表 3 表明,IA、IC 和 LI 含量荷载较大,与 PC1 相关程度较高;C 和 LS 含量荷载绝对值较大,与 PC2 相关程度较高;R 和 F 含量荷载绝对值较大,与 PC3 相关程度较高。因此,将 3 个主成分命名为:PC1 包括 IA、IC 和 LI;PC2 包括 C 和 LS;PC3 包括 R 和 F。将 7 个营养成分指标降维成 3 个主成分因子。根据每个主成分因子的权重值和特征值,得到 3 个因子的判别函数如下:

$$y_1 = \frac{-0.055}{\sqrt{3.104}}x_1 - \frac{0.022}{\sqrt{3.104}}x_2 + \frac{0.009}{\sqrt{3.104}}x_3 + \frac{0.310}{\sqrt{3.104}}x_4 + \frac{0.282}{\sqrt{3.104}}x_5 - \frac{0.281}{\sqrt{3.104}}x_6 + \frac{0.263}{\sqrt{3.104}}x_7 \quad (4)$$

$$y_2 = \frac{0.608}{\sqrt{3.104}}x_1 - \frac{0.048}{\sqrt{3.104}}x_2 + \frac{0.470}{\sqrt{3.104}}x_3 - \frac{0.086}{\sqrt{3.104}}x_4 - \frac{0.097}{\sqrt{3.104}}x_5 - \frac{0.014}{\sqrt{3.104}}x_6 + \frac{0.132}{\sqrt{3.104}}x_7 \quad (5)$$

$$y_3 = \frac{-0.197}{\sqrt{3.104}}x_1 + \frac{0.767}{\sqrt{3.104}}x_2 + \frac{0.186}{\sqrt{3.104}}x_3 + \frac{0.090}{\sqrt{3.104}}x_4 + \frac{0.199}{\sqrt{3.104}}x_5 + \frac{0.077}{\sqrt{3.104}}x_6 - \frac{0.310}{\sqrt{3.104}}x_7 \quad (6)$$

函数表达式中, y_1 、 y_2 、 y_3 分别表示主成分 1、主成分 2、主成分 3, x_1 、 x_2 、 x_3 、 x_4 、 x_5 、 x_6 、 x_7 分别表示变量 C、R、LS、IA、IC、LI、F 含量。

2.3.2 熵权法赋予权重 对不同产地金银花营养品质综合评价时,由于 7 个营养成分含量差距较大,各项指标对评价结果的重要程度并不完全一致。为使评价结果更加客观实际,可以通过权重系数来反映。权重系数越大,表明重要程度越高,对评价结果的影响越显著^[23]。本研究采用客观赋权法中的熵权法对各评价指标赋予权重,结合灰色关联法对不同产地金银花营养品质综合评价。采用公式(3)计算各指标的权重系数,得到 C、R、LS、IA、IC、LI、F 含量的信息熵分别是 0.826, 0.860, 0.534, 0.839, 0.791, 0.542 和 0.751, 赋予的权重系数分别为 0.071, 0.044, 0.301, 0.061, 0.099, 0.294 和 0.130。详见表 4。

表 4 评价指标的权重系数

Table 4 Weight coefficients of evaluation indicators

评价指标	C	R	LS	IA	IC	LI	F
信息熵	0.826	0.860	0.534	0.839	0.791	0.542	0.751
权重系数	0.071	0.044	0.301	0.061	0.099	0.294	0.130

2.3.3 灰色关联度分析 依据灰色关联度理论,建立灰色系统时,把所有试验品种都作为系统中的一个因素,使用关联度分析各因素的关联程度。关联度数值越大,性状越优。依据各指标关联度大小,赋予各指标不同的权重,计算各指标的加权关联度。

以 3 个主成分为自变量,以关联度为因变量进行回归分析,得到回归方程 $y=0.324-0.019x_1+0.024x_2-0.011x_3$ 。将回归方程去标准化,得到多元

线性回归模型,即金银花营养品质评价模型:

$$y=0.049x_1-0.018x_2+0.106x_3+0.088x_4+0.067x_5+0.335x_6+0.055x_7+0.282 \quad (7)$$

式中, x_1 、 x_2 、 x_3 、 x_4 、 x_5 、 x_6 、 x_7 分别表示变量 C、R、LS、IA、IC、LI、F 含量。

利用该模型,对 138 个参试金银花样本进行计算,根据综合得分结果进行分级,共分为 6 个级别,详见表 5。

表 5 金银花营养品质综合评分标准

Table 5 Comprehensive evaluation standard of nutritional quality of honeysuckle

等级	1	2	3	4	5	6
综合评分值	≤2.0	2.0~2.5	2.5~3.0	3.0~3.5	3.5~4.0	>4.0

3 结论

作物的品质性状大多是受多基因控制的数量性状,受环境影响较大^[24]。因此,对种质资源进行多指标综合评判,对于种质营养品质最佳材料筛选和品种改良具有重要的指导意义^[25]。本研究中,选取了来自全国各大主产区的 138 种金银花材料,变异类型丰富,营养价值高,主要营养成分齐全,然而变量元素多,分析计算比较复杂,为此,采用 PCA 方法降维,选取具有代表性的、数量尽可能少的主成分来描述多种指标之间的联系。通过 PCA 将 7 个营养组分指标简化为 3 个主成分因子,PC1 包括异绿原酸 A、异绿原酸 C 和木犀草素;PC2 包括绿原酸和木犀草苷;PC3 包括芦丁和总黄酮。3 个主成分贡献率分别为 44.339%, 23.930% 和 18.382%, 累计贡献率为 86.651%。采用熵权法、灰色关联度分析法和主成分分析,建立金银花营养品质综合评价函数, $y=0.049x_1-0.018x_2+0.106x_3+0.088x_4+0.067x_5+0.335x_6+0.055x_7+0.282$ 。通过概率分布建立金银花营养品质综合评分 6 级标准。利用评价体系对金银花资源营养品质进行综合分析,可以得到更加客观的营养评价结果,为筛选营养品质最优的金银花材料提供依据。该研究结果实际利用价值较大。

参 考 文 献

- [1] QIU S, BAI M, ZHAO P, et al. Phytochemical and network-based chemotaxonomic study of *Lonicera japonica* Thunb [J]. *Biochemical Systematics and Ecology*, 2021, 94(2): 104210-104219.
- [2] 潘明飞, 杨晶莹, 李睿, 等. 药食同源食品金银花中绿原酸标准物质的研制与评价[J]. *中国食品学报*, 2020, 20(4): 224-232.
- PAN M F, YANG J Y, LI R, et al. Development and evaluation of chlorogenic acid reference material in honeysuckle of medicinal and food homologous food[J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2020, 20(4): 224-232.
- [3] 夏伟, 余水亮, 杨红旗, 等. 金银花化学成分及药理作用研究进展[J]. *安徽农业科学*, 2017, 45(33): 126-127, 165.
- XIA W, YU S L, YANG H Q, et al. Research advances on chemical constituent and pharmacology effects of honeysuckle[J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2017, 45(33): 126-127, 165.
- [4] 王浩兵, 邓力, 马元春, 等. 基于 UHPLC 的金银花和山银花的鉴别及测定研究[J]. *中草药*, 2017, 48(12): 2516-2521.
- WANG H B, DENG L, MA Y C, et al. Study on identification and determination of *Lonicerae japonicae* flos and *Lonicerae* flos by UHPLC[J]. *Chinese Traditional and Herbal Drugs*, 2017, 48(12): 2516-2521.
- [5] 仇劲, 李国清, 于清伟, 等. 不同采收时期金银花中化学成分及其相关酶活性分析[J]. *中国农学通报*, 2019, 35(19): 73-77.
- ZHANG J, LI G Q, YU Q W, et al. Chemical components and relevant enzyme activity of *Lonicera japonica* at different harvest stages[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2019, 35(19): 73-77.
- [6] SUN Y, YU Y M, SUO H B, et al. Research on extracting technology of chlorogenic acid from honeysuckle[J]. *Advances in Applied Microbiology*, 2017, 444(9): 811-822.
- [7] 谭政委, 夏伟, 许兰杰, 等. 不同品系金银花质量评价[J]. *安徽农业科学*, 2018, 46(25): 168-171.
- TAN Z W, XIA W, XU L J, et al. Quality evaluation of honeysuckle in different strains[J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2018, 46(25): 168-171.
- [8] 李巧珍, 姜宁, 李正鹏, 等. 香菇营养品质评价体系的构建[J]. *核农学报*, 2021, 35(4): 881-890.
- LI Q Z, JIANG N, LI Z P, et al. Establishment of the nutritional quality evaluation system for *Lentinula edodes*[J]. *Journal of Nuclear Agricultural Sciences*, 2021, 35(4): 881-890.
- [9] 郭孝萱, 张芸丹, 邱静, 等. 生姜营养品质评价指标体系构建[J]. *中国调味品*, 2020, 45(10): 192-196.

- GUO X X, ZHANG Y D, QIU J, et al. Construction of nutritional quality evaluation index system of ginger[J]. *China Condiment*, 2020, 45(10): 192-196.
- [10] 王晓静, 梁燕, 徐加新, 等. 番茄品质性状的多元统计分析[J]. *西北农业学报*, 2010, 19(9): 103-108.
- WANG X J, LIANG Y, XU J X, et al. Multiple statistics analysis of the quality traits of tomato (*Solanum lycopersicum* L.)[J]. *ACTA Agriculturae Boreali-Occidentalis Sinica*, 2010, 19(9): 103-108.
- [11] 朱丹实, 张越怡, 党悦怡, 等. 加工过程对 NFC 苹果浊汁营养品质的影响[J]. *中国食品学报*, 2020, 20(4): 100-107.
- ZHU D S, ZHANG Y Y, DANG Y Y, et al. Effects of production process on the nutritional quality of NFC cloudy apple juice[J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2020, 20(4): 100-107.
- [12] 郑莎, 曾卫湘, 韩冷, 等. 45 个桑种质和品种资源叶的营养品质综合评价[J]. *食品科学*, 2017, 38(8): 159-163.
- ZHENG S, ZENG W X, HAN L, et al. Comprehensive evaluation of nutritional quality of leaves from 45 mulberry germplasm and varieties[J]. *Food Science*, 2017, 38(8): 159-163.
- [13] CHEN W C, LI W, YANG Y, et al. Analysis and evaluation of tasty components in the pileus and stipe of *Lentinula edodes* at different growth stages[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2015, 63(3): 795-801.
- [14] 于新颖, 魏长浩, 余诚玮, 等. 粗壮脉纹孢菌固态发酵对菜籽粕营养品质的改善[J]. *中国食品学报*, 2020, 20(2): 221-227.
- YU X Y, WEI C H, YU C W, et al. Improvement of nutrition components of rapeseed meal by solid-state fermentation with *Neurospora crassa*[J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2020, 20(2): 221-227.
- [15] 胡瑞瑞, 梁军, 谢宪, 等. 昆崙山区欲植赤松林地赤枯病病基指数预测[J]. *林业科学*, 2020, 56(12): 83-90.
- HU R R, LIANG J, XIE X, et al. Prediction disease based index of needle blight disease (*Pestalotiopsis funerea*) in *Pinus densiflora* pure forest in Kunyushan Mountains[J]. *Scientia Silvae Sinicae*, 2020, 56(12): 83-90.
- [16] 蒲云峰, 丁甜, 钟建军, 等. 新疆 12 种干果的营养品质及抗氧化分析[J]. *中国食品学报*, 2019, 19(5): 287-294.
- PU Y F, DING T, ZHONG J J, et al. Analysis of nutrition quality and antioxidant capability of 12 species of dried fruits in Xinjiang[J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2019, 19(5): 287-294.
- [17] 李森, 王永香, 孟谨, 等. HPLC 法测定金银花中新绿原酸等 8 种成分的量[J]. *中草药*, 2014, 45(7): 1006-1010.
- LI M, WANG Y X, MENG J, et al. Determination of eight components in *Lonicera japonica* by HPLC[J]. *Chinese Traditional and Herbal Drugs*, 2014, 45(7): 1006-1010.
- [18] 樊深, 曾庆华, 王会, 等. 金银花总黄酮的提取[J]. *江苏农业科学*, 2014, 42(10): 255-256.
- FAN S, ZENG Q H, WANG H, et al. Extraction of total flavonoids from honeysuckle (*Lonicera japonica* Thunb.)[J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2014, 42(10): 255-256.
- [19] 高琦, 李加恒, 韩昊廷, 等. 基于灰色关联分析法研究不同干燥方式对茺菁脆片的影响[J]. *食品科学*, 2019, 40(5): 95-101.
- GAO Q, LI J H, HAN H T, et al. Effects of different drying methods on turnip chips as evaluated based on grey relational analysis[J]. *Food Science*, 2019, 40(5): 95-101.
- [20] 余华, 钟全林, 程栋梁, 等. 不同种源刨花楠林下幼苗叶片碳氮磷化学计量特征[J]. *林业科学*, 2018, 54(12): 22-32.
- YU H, ZHONG Q L, CHENG D L, et al. Leaf C, N, P stoichiometry of *Machilus pauhoi* understory seedlings of different provenances[J]. *Scientia Silvae Sinicae*, 2018, 54(12): 22-32.
- [21] POKORNÁ E, HLUSKA T, GALUSZKA P, et al. Cytokinin N-glucosides: Occurrence, metabolism and biological activities in plants[J]. *Biomolecules*, 2020, 11(1): 24-33.
- [22] 杨玲, 张彩霞, 康国栋, 等. ‘华红’苹果果肉的流变特性及其主成分分析[J]. *中国农业科学*, 2015, 48(12): 2417-2427.
- YANG L, ZHANG C X, KANG G D, et al. Rheologic properties of ‘Huahong’ apple pulp and their

- principal component analysis[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2015, 48(12): 2417–2427.
- [23] SAATY T L, VARGAS L G. Models, methods, concepts & applications of the analytic hierarchy process[M]. Boston: Springer, 2001: 111–115.
- [24] PAWLOWSKI M L, VUONG T D, VALLIYODAN B, et al. Whole-genome resequencing identifies quantitative trait loci associated with mycorrhizal colonization of soybean[J]. *Theoretical and Applied Genetics*, 2020, 133(2): 409–417.
- [25] 邓娜, 杨凯, 赵玉红. 8种抗寒平欧杂交榛子油脂成分分析及比较[J]. *食品科学*, 2017, 38(12): 144–150.
- DENG N, YANG K, ZHAO Y H. Comparative analysis of oils of 8 cold-resistant Flat-European hybrid varieties of hazelnuts (*Corylus heterophylla* Fisch.×*Corylus avellana* L.)[J]. *Food Science*, 2017, 38(12): 144–150.

Construction of Nutritional Quality Evaluation System of Honeysuckle (*Lonicera japonica* Thunb.)

Liang Huizhen^{1,2}, Tan Zhengwei¹, Yu Yongliang¹, Yang Hongqi¹, Xu Lanjie¹, Yang Qing¹, Li Chunming¹, Dong Wei¹, Li Lei¹, Lu Dandan¹, An Sufang¹

¹Sesame Research Center, Henan Academy of Agricultural Sciences, Zhengzhou 450002

²Xixia Branch, Henan Academy of Agricultural Sciences, Xixia 474550, Henan

Abstract The establishment of nutritional quality evaluation system of honeysuckle is of great significance for screening and exploring excellent resources of honeysuckle, and comprehensive utilization of its nutritional and medical values. 138 honeysuckle varieties from different habitats were used as samples in this research. Quantitative analysis of chlorogenic acid, rutin, luteoloside, isochlorogenic acid A, isochlorogenic acid C, luteolin were performed by high performance liquid chromatography. The content of total flavonoids was determined by UV spectrophotometry. The comprehensive evaluation function of nutritional quality of honeysuckle was established by entropy weight method, grey correlation analysis and principal component analysis (PCA), and the comprehensive evaluation standard of nutritional quality of honeysuckle was established by probability distribution. The results demonstrated that there were differences in the contents of seven nutrients among 138 tested materials, and the coefficient of variation was 8.32%–71.23%. All the seven nutrients were affected by the environment but different in degrees. Correlation analysis indicated that luteolin was positively correlated with chlorogenic acid and rutin. There was a significant positive correlation between isochlorogenic acid A and isochlorogenic acid C. Luteolin was negatively correlated with isochlorogenic acid A and isochlorogenic acid C. The total flavonoids showed a significant positive correlation with isochlorogenic acid A and isochlorogenic acid C, and a significant negative correlation with luteolin. PCA simplified seven nutritional components into three principal component factors. PC1 includes isochlorogenic acid A, isochlorogenic acid C and luteolin. PC2 includes chlorogenic acid and luteolin. PC3 includes rutin and total flavonoids. The contribution rates of the three principal components were 44.339%, 23.930% and 18.382% respectively, and the cumulative contribution rate was 86.651%. On this basis, the comprehensive evaluation function of nutritional quality of honeysuckle and the six grade standard of nutritional quality of honeysuckle were established. Comprehensive analysis of the nutritional quality of honeysuckle resources by using the evaluation system can get more objective nutritional evaluation results, and provide a basis for screening the best nutritional quality of honeysuckle resources.

Keywords honeysuckle; nutritional quality; multiple statistics analysis; grey correlation analysis; evaluation system