

会出现微裂纹,这是由于热影响区组织粗大造成的。通过数字图像相关(DIC)技术对试样的应变场分布情况加以分析,发现试样熔合线附近存在着明显的应变集中现象,而且集中程度与界面组织梯度有关。从实验结果来看,通过改善焊接工艺参数,可以提高接头各部分之间的变形协调性,从而提高整体塑性变形能力。

5 腐蚀行为实验结果与机理

5.1 晶间腐蚀敏感性定量评价与机理分析

通过 Strauss 试验和电化学动电位再活化(EPR)的方法来评定焊接接头的晶间腐蚀敏感性。结果表明所有的焊接接头都有不同程度的晶间腐蚀倾向,热输入量为 10.5kJ/cm 时腐蚀最轻,腐蚀速率为 0.85mm/a,腐蚀等级为 A 级。EPR 结果显示再活化率随着热输入量的增加而增大,在 12.5kJ/cm 时最大,为 15.8%。腐蚀机理是由于 Cr 碳化物在晶界上析出而造成的贫铬区。热输入影响敏化温度区间停留的时间,进而影响贫铬区的程度。通过显微观察发现,腐蚀裂纹主要是沿晶界扩展,而且在热影响区最严重,这也与该区域碳化物大量析出现象相符合。表 3 的定量数据清晰地展示了不同热输入条件下接头腐蚀性能的显著差异,为后续腐蚀机理分析提供了重要的数据支撑。

表 3 腐蚀试验结果

热输入 (kJ/cm)	腐蚀速率 (mm/a)	腐蚀等级	最大腐蚀深度 (μm)
8.5	0.92	B	125
10.5	0.85	A	105
12.5	1.15	C	155

5.2 点蚀萌生与发展行为特征研究

采用 FeCl₃ 溶液进行点蚀试验,点蚀最先在热影响区出现。点蚀电位测量表明焊接接头的点蚀电位比母材低 50-100mV。热输入为 12.5kJ/cm 时点蚀敏感性最高,点蚀密度达到 35 个/cm²,平均蚀坑深度为 85μm。通过 SEM 观察发现,点蚀核主要起源于晶界碳化物和基体的界面处,以及夹杂物周围。蚀坑呈典型的半球形发展,腐蚀时间越长,蚀坑越往中心聚集,相互连接成较大的腐蚀坑。

5.3 腐蚀产物化学组成与腐蚀类型判定

通过 XPS 和 EDS 对腐蚀产物成分的分析可知,主要产物是 Cr₂O₃,Fe₂O₃,FeOOH,其中 Cr₂O₃ 含量越多耐腐蚀性越好。在 10.5kJ/cm 试样中 Cr₂O₃ 的含量最高,为 62.5%,而 12.5kJ/cm 试样中 Fe₂O₃ 的含量则显著提高。腐蚀产物中还有少量氯化物被发现,约有 2.3%,说明 Cl⁻ 加入了腐蚀之中。结合显微形貌与成分分析确定主要的腐蚀形式为晶间腐蚀和点蚀。晶间腐蚀出现在敏化程度较高的区域,而点蚀则与夹杂物和析出密切相关。研究还发现两种腐蚀形式存在相互促进作用,加速了接头的腐蚀失效进程。

6 综合结论与工程应用价值

6.1 组织 - 性能关联机制的系统性结论

研究表明,焊接热输入通过影响微观组织演变进而决定接头综合性能。当热输入为 10.5kJ/cm 时,组织性能匹配效果最佳。焊缝区形成细小均匀的树枝晶组织,δ-铁素体含量控制在最佳值 5.8%,热影响区晶粒大小控制在 35μm 左右。这样的组织特征使得接头在拥有良好力学性能(抗拉强度为 625MPa,延伸率为 35%)的同时还具有良好的耐蚀性(腐蚀速率为 0.85mm/a)。过大的或过小的热输入都会导致组织的恶化,如热输入较低时组织细化而残余应力增大,热输入较高时晶粒粗大且碳化物析出严重,导致接头性能下降。这一结论为优化焊接工艺提供了重要的理论依据。

6.2 焊接工艺参数优化方向的明确建议

基于研究成果,推荐选用热输入参数为中等热输入参数 10—11Kj/cm 的 304 不锈钢 TIG 焊接。具体工艺参数为:焊接电流为 155—165A,电压为 12.8—13.2V,焊接速度为 115—125mm/min。可以采用较小的坡口角度和多层多道焊的方式,减少单道焊的热输入总量。严格控制层间温度<150℃,防止热影响区过分敏化。对于耐腐蚀性要求比较高的地方,可以做焊后固溶处理(1050℃×30min),消除焊接应力,使组织均匀。这些措施可显著提高接头的综合使用性能。

6.3 工程应用价值与后续研究展望

本研究结论已成功应用于某化工设备制造企业,使得 304 不锈钢焊接接头的合格率达到 99.5%,设备的使用寿命提高了 30%。研究成果为石油化工、食品机械等诸多领域里焊接工艺规范修订形成了科学依据^[3]。后续研究会侧重于探讨焊接接头在高温、腐蚀等相互作用条件下的性能改变规则,进一步探索数字化焊接手段在线监测并调控的实际应用情况,促使不锈钢焊接技术朝着智能化与高效率的方向迈进。

7 结语

本研究表明,TIG 焊接热输入参数的优化可以很好的控制 304 不锈钢接头组织和性能。当热输入控制在 10.5kJ/cm 时,接头的综合性能最好,抗拉强度达到 625MPa,腐蚀速率为 0.85mm/a。研究显示了焊接热输入 - 微观组织 - 力学性能 - 耐腐蚀性之间内在联系,形成起工艺优化理论模型。研究成果已经应用到工程实践中,有效的提高了设备的使用寿命和安全性能。未来研究将聚焦多场耦合工况下接头性能演化规律及智能化焊接技术开发,为推动不锈钢焊接技术进步提供重要支撑。

参考文献

- [1] 杨海波,陈勇,徐育焱,等.304不锈钢管TIG焊接接头凝固行为及热力耦合研究[J].精密成形工程,2023,15(12):173-181.
- [2] 孙家坡.激光-TIG复合焊接304不锈钢工艺参数优化[D].南华大学,2023.
- [3] 刘辉,张俊峰.TP304不锈钢管道TIG焊接熔池冶金行为与微观组织调控研究[J].冶金与材料,2025,45(08):22-24.

New Directions in Plant Active Ingredient Extraction: Natural Proportional Compound of Single Active Components from Authentic Plants

Anning Wang Sen Hou

Guyu Biotechnology Group Co., Ltd., Guangzhou, Guangdong, 510000, China

Abstract

Plant extracts play an important role in the Chinese cosmetics, health products, and pharmaceutical markets. With the continuous advancement of extraction technology, the concept of plant extract raw materials is gradually changing. However, since their inception, there have been inherent problems with plant extract raw materials. Some plant extract ingredients are mixed, and the core functional components and mechanisms are unclear. Some plant extracts have merely a single component and lose the effect of synergistic enhancement. Although there are numerous reports on the preparation of plant extracts, the theoretical research on the development of plant extracts is still lacking. This study analyzes on the development theory of plant extract raw materials, explains from a scientific perspective the four major characteristics that excellent plant extract raw materials should possess and details the scientific basis behind them: sourcing authentic plants, extracting high-purity monomers, compounding multiple monomer ingredients, and following natural ratios using the compound method. This study will provide theoretical references and R&D guidelines for the development of plant extracts in the fields of cosmetics, health products, and pharmaceuticals in China.

Keywords

plant extract raw material; authentic; monomer; compound; natural proportion

植物功效成分提取新方向：道地植物单一成分的天然比例复配

王安宁 侯森

谷雨生物科技集团股份有限公司，中国·广东 广州 510000

摘 要

在中国化妆品、保健品、药品市场，植物提取物原料占有重要的一席之地。随着现在提取工艺的不断进步，植物提取物原料的理念也逐渐改变。然而，从诞生之日起，植物提取物原料就存在内在的问题：有的植物提取物成分混杂，核心功效成分和机制不明；有的植物提取物成分单一，但是也失去协同增效的机制；同时，植物提取物的制备方法虽多有报道，但是植物提取物的研发理论研究还很缺乏。本文针对植物提取物原料的开发理论进行了研究分析，从科学的角度阐释了优秀植物提取物原料所应具备的四大特征及其背后的科学依据：取材道地植物、提取高纯单体、多单体成分复配以及复配道法天然比例。本研究将为中国化妆品、保健品、药品领域中植物提取物的开发提供理论参考和研发方向指南。

关键词

植物提取物原料；道地；单体；复配；天然比例

1 引言

植物提取物原料成分在中国化妆品、保健品、药品市场占有重要的地位。近年来各种植物提取成分层出不穷，大致上可分为三种。第一种是功效物质不明的成分。虽然此成分整体有效，但其功效成分不明，并且往往纯度很低。更有甚者其标志性成分仅能作为生产质控使用，并非真实的功

效成分。第二种是核心功效物质明确，但是纯度不高的成分。此成分往往以混合物的形式存在，例如，原料光果甘草根提取物，其中主要功效物质是光甘草定，但是纯度一般仅仅只有 40% 左右。第三种是化学结构明确且纯度很高的成分。这种成分是从天然植物中提取而来，其成分单一，功效明确，例如，原料光甘草定能够达到 99% 的纯度，具有优异的美白功效。

这三种植物提取成分原料的出现，反映了科学理论的历史变迁。从传统中医视角来看，植物提取物，尤其是药材来源的植物提取物，往往含有数十种生物碱、黄酮、多糖等

【作者简介】王安宁（1982-），男，满族，本科，从事生物化学与分子生物学研究。

复杂成分，这些成分在复方中相互作用，共同发挥药效。然而这种多成分的“黑箱”却给机理机制的分析造成了困难。相对而言，西方现代药学“单体成分至上”的原则受到越来越多的追捧。结构明确的物质，可以通过科学的试验精准测量其剂量-功效关系，具有更好的信服力。在追求单一活性成分的过程中，人们发现多物质的复配具有比单体成分更加优秀的功效，即协同增效效应。获取更优秀的植提原料是化妆品科学的重要研究课题，然而目前的原料研发还缺乏成熟理论指导，为此，本文抛砖引玉，在理论层面浅谈化妆品植物提取原料的未来发展方向。

2 野生道地植物的中医学理解

道地药材是中医临床长期优选出的优质药材，强调特定地域（如四川黄连、甘肃当归）在自然条件（气候、土壤）和人文工艺（种植、炮制）共同作用下形成的独特品质^[1]。其“道”源于唐代行政区划，“地”指地理环境，体现中医“天人合一”理念。中医理论认为药材禀受天地之气，如甘肃岷县当归因高海拔积累更多补血成分。孙思邈《千金翼方》强调“用药必依土地”。

一方面，道地的自然条件更有利于植物的生长，正所谓“橘生淮南则为橘，橘生淮北则为枳”。淮南属亚热带季风气候，温暖湿润（年均温 $>0^{\circ}\text{C}$ ，年降水量 $>800\text{mm}$ ），适合柑橘生长，果实甘甜；而淮北属温带季风气候，冬季寒冷干燥（年均温 $<0^{\circ}\text{C}$ ，霜期长），柑橘无法适应。而枳（酸涩果实）更为耐寒，才能在淮北生长。虽然古人缺乏现代植物学的知识，将橘（柑橘）与枳（枳壳）混淆为一种物种，但这句话所包含的理论，演绎了道地的自然条件与植物生长的互动过程。

另一方面，尽管道地的自然条件不一定是逆境，但是很多生长于逆境的道地植物，会主动通过复杂的生理和分子机制来适应和缓解逆境的威胁与损害，如持续调节激素水平、增强抗氧化能力等提高对逆境的忍耐力。在此过程中，植物会产生特殊的成分来对抗环境压力，导致植物所含功效物质的量和种类发生改变。离开了道地环境，不但会使植物的生长受到抑制，而且会让部分在逆境道地环境中产生的功效成分逐渐丧失。因此使用道地的植物是寻求植物来源功效成分的关键。

3 高纯提取物的优势

生长在逆境的植物，在对抗环境压力时，除了会产生一系列有益的功效成分，也会产生有害成分。例如，茄科植物会产生茄碱，这种成分能有效防御昆虫等天敌，但是大量使用会导致神经系统功能损伤。又如，烟草能合成二萜糖苷，这种物质可攻击细胞膜，从而保护植物免于食草动物吞食。这些成分在具有对人体有害的风险。

虽然有益的功效成分在纯度不高的植物提取物中占主体，但是微量有害物质的掺杂同样具有不可忽视的风险。例

如，光甘草定、甘草酸二钾这些对皮肤有益的成分都提取自甘草，但研究表明，在纯度不高的光甘草定中，有时会掺杂光甘草酚这种成分。研究发现纯光甘草定对斑马鱼胚胎并没有遗传毒性，而含有光甘草酚的同剂量的光甘草定，则展现出显著的遗传毒性，该毒性随光甘草酚含量而增加^[2]。随着光甘草定纯度的提高，光甘草酚的含量会不断减少，直至趋近于零，彻底消除了其不良影响。

某些单体物质，其在极低的剂量下也具有极强的副作用。如光甘草定这种美白成分^[3]，在提纯过程中，极易掺杂微量的芒柄花素。芒柄花素在极低的含量时也会导致皮肤过敏等不良反应。如表 1 所示，在 300ppm 的光甘草定乳液中，含有百万分之 0.75 的芒柄花素就会导致明显的皮肤过敏（1 例一级反应 1 例二级反应），当芒柄花素的含量提高到 3ppm 时，会产生更明显的皮肤刺激（3 例一级反应 1 例二级反应）。使用高纯功效物质进行复配，能够有效避免不明杂质成分带来的副作用，降低使用风险。

表 1. 含有芒柄花素的光甘草定乳液的斑贴试验。

芒柄花素含量 (ppm)	观察 时间	受试 人数	斑贴试验不同皮肤反应人数			
			1	2	3	4
3	0.5h	46	3	1	0	0
	24h	48	2	0	0	0
	48h	48	2	0	0	0
0.75	0.5h	48	1	1	0	0
	24h	50	0	0	0	0
	48h	50	0	0	0	0
0	0.5h	49	0	0	0	0
	24h	49	0	0	0	0
	48h	49	0	0	0	0

高纯的单体成分具有明确的化学结构，可以通过科学的试验对其功效进行精准的检测，避免混合提取物功效成分不明、比例不稳定等因素带来的风险，是植物提取物未来的发展方向。

4 多成分复配的协同增效

天然植物提取物的功效往往是多种成分协同作用的结果。例如，红景天^[4]主要分布在北半球的极寒地带以及高原地区，为了适应高海拔、强紫外线的生存环境，产生了红景天苷以及一系列酚类功效物质，如原花青素、绿原酸、没食子酸等。又如，高山火绒草（又名雪绒花），原产于阿尔卑斯高山地区，生长在海拔 2000-2900 米的砾石草地或石灰岩地，生长环境具有温差大、气压低、紫外线辐射强烈、超低温及风强等特点。为此，雪绒花中进化出各种对自身生存有益同时也对皮肤有益的活性成分，包括雪绒花酸、绿原酸、植物固醇、氨基酸、多醣体等，能够协同抗氧化并对体内过量的自由基及有害物质进行清除。

为了达到协同增效的目的，往往需要选取几种（通常两到三种）发挥主要功效的单体成分，进行科学复配。参考