第 44 卷 第 3 期
2026 年 9 月

天 文 学 进 展
PROGRESS IN ASTRONOMY

Vol. 44, No. 3
Sept., 2026

doi: 10.3969/j.issn.1000-8349.2026.03.05

基于 GALAH 巡天的富锂巨星与行星吞噬的研究

王令江 [1,2], 宋连运 [1,2], 毕少兰 [1,2], 李坦达 [1,2]

(1. 北京师范大学 天文与天体物理前沿研究所，北京 102206； 2. 北京师范大学 物理与天文学院，北京 100875)

摘要： 基于 GALAH DR4、Gaia、2MASS 及 WISE 等多波段观测数据，通过分析元素丰度偏差与凝结温度（T_c）的相关性，成功识别出 5 颗呈现显著耐火元素增丰特征的行星吞噬候选体。此外，结合磁活动指标（$I_{H\alpha}$）与投影自转速度（$v \sin i$）开展进一步分析，验证了行星吞噬事件对锂增丰过程起到关键作用。研究表明，尽管行星吞噬是提升恒星锂丰度的重要途径，但对于部分高锂丰度恒星而言，单一的吞噬模型尚不足以解释其观测特征，暗示其可能还经历了内部核合成或额外混合等其他增丰机制。

关键词： 恒星；富锂巨星；色球活动；行星吞噬

中图分类号： P145.2 **文献标识码：** A

1 背 景

锂是宇宙大爆炸后最初生成的四种轻元素之一[1], 在恒星内部温度约高于 2.5×10^6 K 的情况下，锂核会通过质子俘获反应被破坏，因此锂在恒星中的产生、衰减与空间分布可作为研究恒星内部结构与其他元素核合成的重要探针[2–4]。根据标准恒星演化模型，中小质量恒星在演化至红巨星阶段时，其对流包层显著向内加深，并与更高温的内层物质发生混合，使表面锂同时经历稀释并在高温区被烧毁，从而使表面锂丰度大幅下降。以类太阳质量恒星为例，其主序阶段的锂丰度接近陨石的锂丰度，$A(\mathrm{Li})$①≈ 3.3 dex，在经历第一次挖掘（first dredge-up）后，理论预期其表面 $A(\mathrm{Li})$ 将降至 1.5 dex 以下。多数观测数据与该预测一致，然而，仍有约 1% 的巨星表面锂丰度显著高于这一阈值，这对传统演化模型提出了重要挑战[5–13, 55]。通常将 $A(\mathrm{Li}) > 1.5$ dex 的巨星称为富锂巨星（Li-rich giants）。富锂巨星最早由 Wallerstein 和 Sneden 于 1982 年发现[14]。此后数十年间，它们陆续在场星[5, 9, 15–19]和星团[9, 20]中被识别出来。然而，由于其

收稿日期： 2026-02-07； **修回日期：** 2026-03-06

资助项目： 国家重点研发计划 (2024YFA1611901)；国家自然科学基金 (12090040, 12090042)

通讯作者： 宋连运, 202431101079@mail.bnu.edu.cn

① $A(\mathrm{Li}) = \lg\left(\frac{N(\mathrm{Li})}{N(\mathrm{H})}\right) + 12$，其中 N 为原子数密度

在银河系中分布稀疏且弥散，早期样本极为有限。近年来，随着 Gaia-ESO [8, 21]、LAMOST [11, 22–24] 和 GALAH（Galactic Archaeology with HERMES）[10, 13, 25–28] 等光谱巡天数据的富锂巨星研究不断增加，富锂巨星样本迅速扩展，为系统研究其锂增丰机制奠定了坚实的观测基础。

目前对富锂现象的解释主要分为两类：内部合成与外部污染。内部合成主要指 Cameron-Fowler 机制[29]，恒星内部高温区通过核反应产生的 ^{7}Be 需在其被高温破坏前被快速输运至较低温的外层，并通过电子俘获转化为 ^{7}Li，从而实现表面锂增丰。这一过程通常需要额外混合来提供有效的物质输运，例如转动诱导混合[30, 31]（rotation-induced mixing）和热盐混合[32, 33]（thermohaline mixing）等。当 ^{12}C/^{13}C 同位素比进一步降低时，常被视为发生过（或正在发生）额外混合的观测迹象。

外部污染机制则指恒星通过吸积外来物质而表现出表面锂增丰。具体而言，当恒星演化至红巨星阶段时，体积膨胀可能导致其吞噬周围的褐矮星和行星，或在双星系统中通过相互作用吸积伴星物质等[34–37]，从而导致表面锂丰度增加。这一过程不仅会改变锂含量，还可能影响恒星的其他元素丰度和角动量。外部污染是解释部分富锂巨星现象的重要途径之一，尤其对中等富锂水平 (A(Li) ≤ 2.2 dex) 的样本更为可行[38]，该机制是内部核合成机制的补充。鉴于外部污染往往还会造成除锂以外的化学元素异常，GALAH DR4 [39, 40] 提供了 33 种元素丰度的测量，实现了利用化学元素异常特征来检验富锂巨星近期是否经历行星吞噬事件。

基于 GALAH DR4[39, 40]、Gaia、2MASS 与 WISE 等多波段观测数据，我们构建了一个覆盖红巨星支（Red Giant Branch, RGB）与红团簇（Red Clump, RC）的巨星样本，系统检验富锂巨星除锂元素以外是否表现出其他元素的异常丰度特征，搜寻可能与近期行星吞噬事件相一致的化学异常特征。

本文结构如下：第 2 章介绍样本的筛选标准，第 3 章阐述吞噬候选体的识别方法，第 4 章呈现主要结果，第 5 章总结全文。

2 数据与样本构建

GALAH 是基于英澳望远镜（Anglo–Australian Telescope, AAT）开展的南天区高分辨率光谱巡天[39]，使用高分辨率光谱仪 HERMES[41]，在 4 713~4 903 Å、5 648~5 873 Å、6 478~6 737 Å 与 7 585~7 887 Å 波段获取分辨率 $R \approx 28\,000$ 的光谱。最新的 GALAH 第四次数据释放[40] 为 917 588 个目标提供了 1 085 520 条一维光谱、$v \sin i$、恒星大气参数及多达 32 种元素的丰度。此外，GALAH 还提供与 Gaia DR3、2MASS 和 WISE 的交叉星表以及多种增值星表（基于 BSTEP 贝叶斯恒星参数计算出的恒星质量、年龄和演化阶段分类参数[42]）。

为保证大气参数和丰度测量的可靠性，本文采用 GALAH 官方推荐的质量控制条件对样本进行预筛选，要求 `flag_sp`= 0，`flag_mg_fe`= 0，光谱信噪比 $R_{\rm SN} > 30$，并施加 `RUWE`< 1.4 以降低双星测量异常对参数与丰度测量的影响。同时利用与 GALAH 交叉的 WISE 数据，仅保留 W2 波段光度质量标记为 A/B/C 的目标，以进一步排除测光质量较差的源，为后续分辨恒星演化阶段做准备。在锂丰度方面，本文采用 GALAH DR4 提供的三维非局域热力学平衡

（three-dimensional non-local thermodynamic equilibrium）的 A(Li)，并基于 `flag_a_li`< 2 构建可靠子样本。

在此基础上，依据 Sahlholdt 等人[43] 给出的经验关系，在 M_{K_s}–T_{eff} 平面将巨星与矮星分离。采用 2MASS 的视星等 m_{K_s}、Gaia 提供的视差 ϖ（mas）以及基于 Wang 等人[44]提供的三维消光地图得到的 A_{K_s}，来计算 K_s 波段绝对星等：

$$M_{K_s} = m_{K_s} - A_{K_s} - 5\lg\left(\frac{100}{\varpi}\right). \tag{1}$$

随后在 $4\,200 \le T_{eff} \le 5\,500$ K 的范围内施加经验阈值 $M_{K_s} < 8.5 - \frac{T_{eff}}{700}$；为降低渐近巨星支（Asymptotic Giant Branch）污染的可能性，进一步剔除绝对星等 $M_{K_s} > -2$ mag 的样本，从而得到由位于 RGB 与 RC 阶段的恒星组成的巨星样本，如图 1 所示。

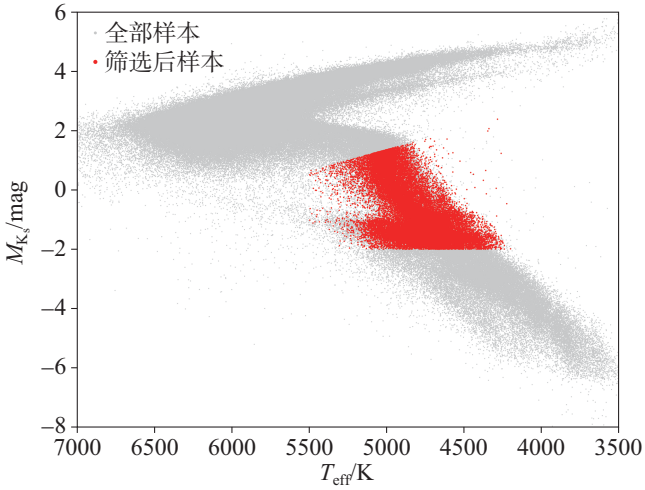


图 1　通过筛选得到的巨星样本在 M_{K_s}–T_{eff} 上的分布

有研究指出，演化阶段位于 RGB 和 RC 阶段的恒星的锂增丰机制有所不同[10, 13, 23]，所以为区分样本中巨星的演化阶段，本文采用 Martell 等人[13] 提出的判据，并利用 GALAH 中给出的演化阶段分类标准，将 `is_redclump_bstep`> 0.5 且 $|W2 + 1.63| < 0.80$ 的目标视为 RC 星，其余视为 RGB 星，其中 $W2$ 为 WISE 4.6 μm 波段的星等。最终获得 RGB 星 22 907 颗和 RC 星 13 606 颗。进一步通过 A(Li) > 1.5 dex 的条件在上述的巨星样本中得到了 1 152 颗富锂巨星，其中包含了 439 颗 RGB 星和 713 颗 RC 星。

3　方　法

若富锂巨星近期经历外部污染，注入其对流包层的物质不仅会提升锂丰度，还可能引发其他元素丰度的系统性异常。若吞噬对象为岩质行星，这些物质的化学特征将与元素的凝结

温度（condensation temperature，T_c）密切相关[45]。T_c 定义为在原行星盘（protoplanetary disk）条件下，某元素的 50% 由气态凝结为固态时的特征温度。通过 T_c 可将恒星中的元素区分为两种：若 $T_c > 1\,300$ K，则为耐火元素；若 $T_c < 1\,300$ K，则为挥发元素。在行星形成过程中，耐火元素易富集于岩质行星，导致恒星大气中的耐火元素丰度变小[46, 47]；而后期巨星吞噬岩质行星后，其丰度则会增大，表现为巨星的耐火元素相对偏差随 T_c 增大而升高的正相关趋势[48, 49]。因此，该特征关系是检验外部污染过程的关键。

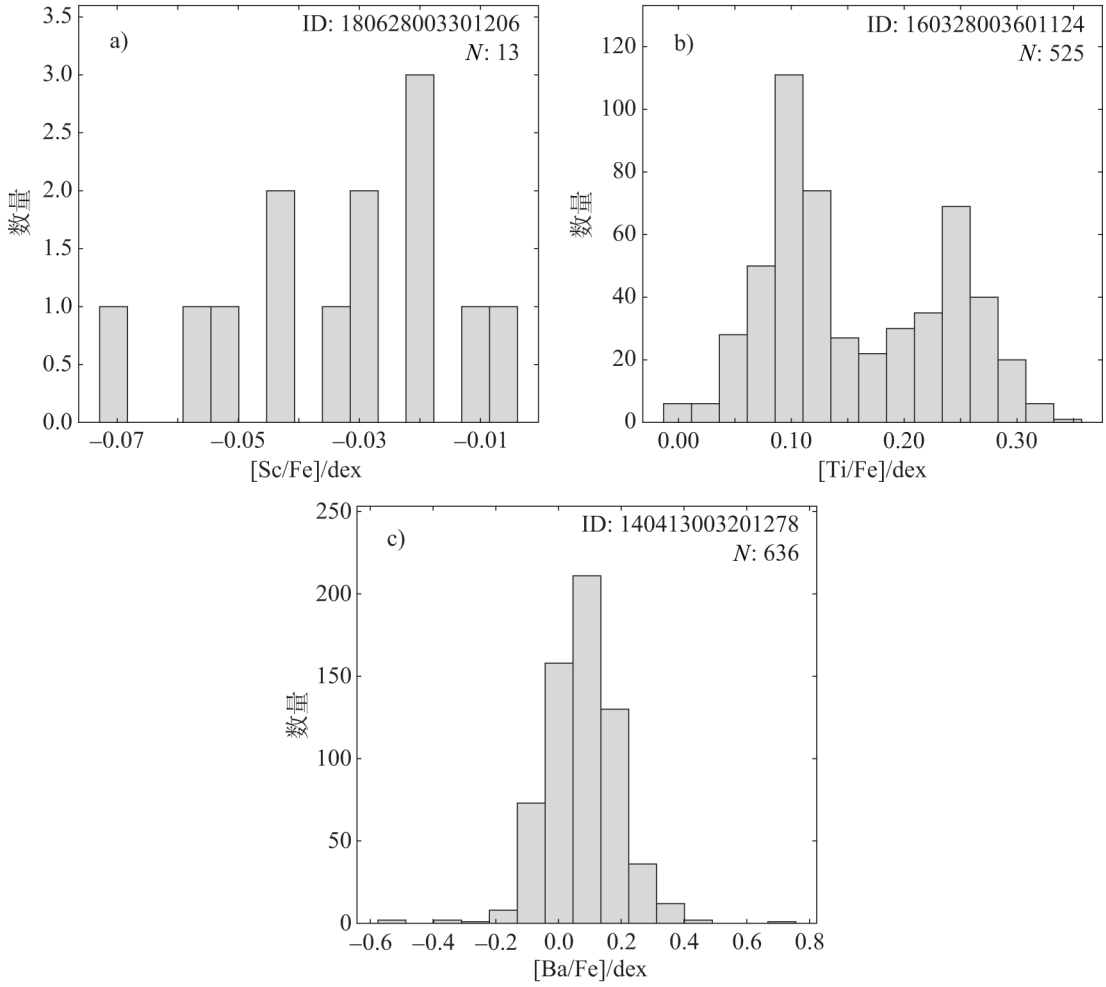


图 2 富锂巨星的孪生星样本元素分布

为检验富锂巨星是否呈现外部污染的化学特征，借鉴 Sayeed 等人的工作[50]，本文采用如下的方法：在锂正常巨星（A(Li) < 1.25）子样本中为每颗富锂巨星构建参数相近孪生星，随后通过计算富锂星与孪生星的元素丰度的差值来量化元素差异。

具体来说，以每颗富锂巨星的 4 个参数 ($T_{\rm eff}$, lg g, [Fe/H], [Mg/Fe]) 为中心，设置匹配窗口 $\Delta T_{\rm eff} \approx 100$ K、$\Delta \lg g \approx 0.23$ dex、Δ[Fe/H] ≈ 0.1 dex、Δ[Mg/Fe] ≈ 0.1 dex，在锂正常巨星样

本中筛选符合条件的孪生星。对每种元素 X，取孪生星样本的 [X/Fe] 的中值作为参考丰度，其误差取对应测量误差的中值。需要指出的是，分析中仅采用质量可靠的丰度测量，即要求 `flag_X_fe= 0`。

基于富锂巨星样本标准差我们选取了匹配窗口。通常认为，窗口内的恒星参数较为相似。如果窗口设置得过小，样本数量可能不足，从而影响统计结果的显著性和可靠性；若窗口设置得过大，则可能混入非孪生星的样本，进而影响结果的准确性和有效性。

为确保统计的稳健性，要求每颗富锂星的孪生星数量 $N > 10$，且孪生星样本中所有元素的 [X/Fe] 均符合正态分布特征。若孪生星样本数量不足或者分布不符合正态分布（见图 2a)、图 2b)），则剔除该富锂星，不做后续分析；仅保留耐火元素分布均符合正态分布特征的样本（见图 2c)）。经此筛选，1 152 颗富锂巨星中最终保留 271 颗满足统计条件的可靠样本。

随后，计算每颗富锂巨星与孪生星的耐火元素丰度差值 $\Delta[\mathrm{X/Fe}] = [\mathrm{X/Fe}]_{\mathrm{Li\text{-}rich}} - [\mathrm{X/Fe}]_{\mathrm{ref}}$，该差值的误差为富锂巨星的丰度观测误差和参考丰度误差的平方和开根，并分析其与 T_{c} 的关系。接下来，采用误差加权最小二乘法拟合 $\Delta[\mathrm{X/Fe}]$ 与 T_{c} 的线性关系，并筛选满足以下条件的候选样本：

（1） 拟合斜率大于零，表明元素丰度偏差与凝结温度呈正相关；

（2） 耐火元素平均元素丰度差 $\Delta[\mathrm{X/Fe}]$ 与其误差均方根之比大于 1，确保耐火元素增丰统计的显著性。

4 结果与讨论

通过分析 271 颗富锂巨星及其配对孪生星的 $\Delta[\mathrm{X/Fe}] - T_{\mathrm{c}}$ 关系，我们共识别出 5 颗具有显著耐火元素增丰的行星吞噬候选体。如图 3 所示，这 5 颗候选体包括 3 颗 RGB 星和 2 颗 RC 星，它们的丰度偏差 $\Delta[\mathrm{X/Fe}]$ 均随 T_{c} 呈现清晰的正相关斜率，表明其大气曾受到富含耐火物质的外部污染。

研究发现，其中的 4 颗候选体锂丰度位于 1.5 ~ 2.2 dex 区间，与行星吞噬机制所能提供的锂增丰理论上限基本一致[38]；仅有一颗 RC 星的 $A(\mathrm{Li}) = 2.57$ dex，略高于该上限，可能在吞噬事件之外还经历了额外混合过程。此外，5 颗候选体均表现出较强的红外超（见图 4），即 $W1 - W4 > 0.5$ mag[51]，这一现象说明它们周围可能存在近期吸积残留。

研究利用吞噬行星来解释锂增丰，需要先估算行星的质量。我们采用 Aguilera-Gómez 等人在 2016 年[38]提出的“吞噬-稀释”理论假设，对所需行星质量与锂含量进行量级估算。该理论假设：（1）吞噬物在其溶解深度被瞬时、均匀地混合至恒星外包层的有效对流区；（2）忽略吞噬后锂的进一步核燃烧及非稳态混合过程，因此所得结果为所需行星参数的保守下限。

在此假设下，观测锂丰度 $A_1(\mathrm{Li})$ 相对于吞噬前 $A_0(\mathrm{Li})$ 的增量对应氢归一化锂数密度变化：

$$\Delta\left(\frac{N_{\mathrm{Li}}}{N_{\mathrm{H}}}\right) = 10^{A_1(\mathrm{Li})-12} - 10^{A_0(\mathrm{Li})-12}. \tag{2}$$

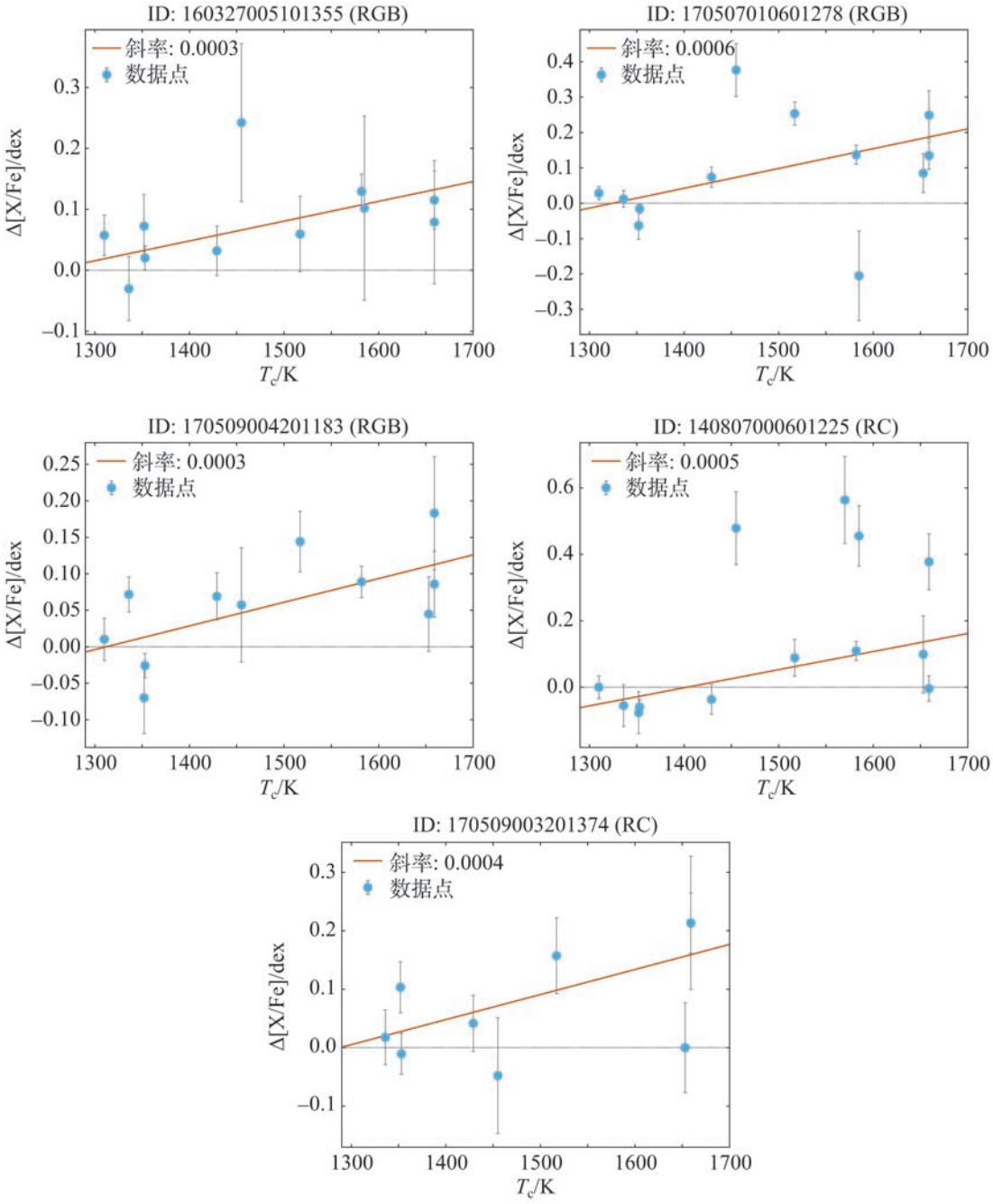
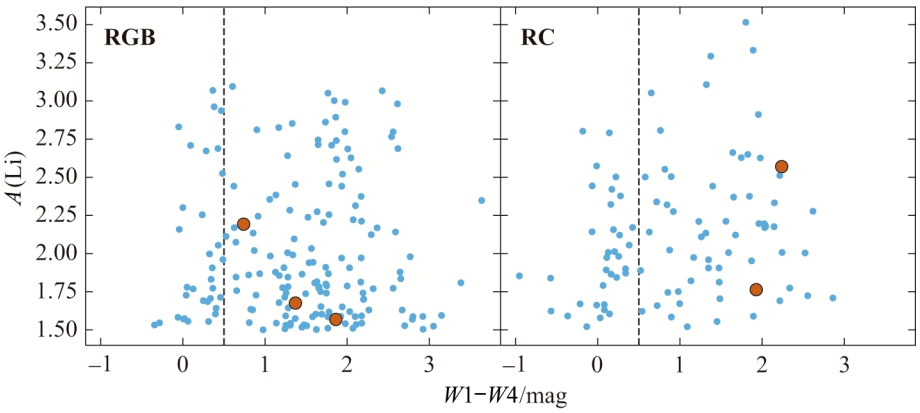


图 3　5 颗吞噬迹象候选体样本的 Δ[X/Fe] 与 T_c 关系



注：图中红色大点表示吞噬候选星，蓝色小点表示其他样本星，虚线表示 $W1 - W4 = 0.5$ mag。

图 4　271 颗富锂巨星的红外超 $W1 - W4$ 与锂丰度 $A(\mathrm{Li})$ 的关系

对于岩质行星（H 含量可忽略），其提供的锂质量需满足：

$$M_{\mathrm{planet}}\, X_{\mathrm{Li,planet}} = 7\, X_{\mathrm{H},\star}\, M_{\mathrm{cz},\star}\, \Delta\left(\frac{N_{\mathrm{Li}}}{N_{\mathrm{H}}}\right), \tag{3}$$

其中，$X_{\mathrm{H},\star} = 0.7$ 为恒星包层 H 质量分数，$M_{\mathrm{cz},\star} = 0.3\, M_\star$ 为有效对流混合区质量（$M_\star$ 由 GALAH 的增值星表 [42] 给出），$X_{\mathrm{Li,planet}}$ 为行星锂质量分数，系数 7 源于 $m_{\mathrm{Li}}/m_{\mathrm{H}} \approx 7$。

为便于比较，我们统一取 $A_0(\mathrm{Li}) = 1.50$，并固定行星锂丰度为地球整体值（$X_{\mathrm{Li,planet}} = 1.1$ ppm），据此反推所需吞噬的岩质总质量。结果如表 1 所示。

表 1　富锂巨星行星吞噬候选体参数表

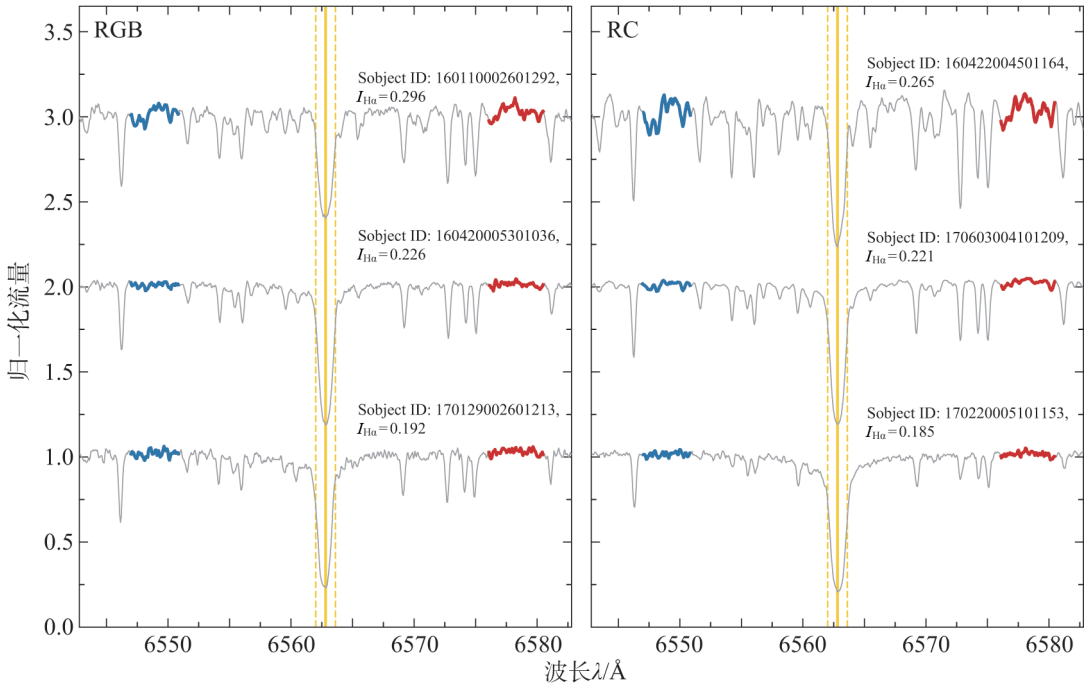
候选体编号	阶段	$M_\star\,/M_\odot$	$A_1(\mathrm{Li})$	$M_{\mathrm{cz}} = 0.3M_\star\,/M_\odot$	所需 $M_{\mathrm{planet}}\,/M_\oplus$
140807000601225	RC	1.078	2.570	0.323	179.1
170509003201374	RC	1.247	1.764	0.374	16.1
160327005101355	RGB	1.488	1.569	0.447	3.9
170507010601278	RGB	1.003	2.193	0.301	61.0
170509004201183	RGB	1.158	1.676	0.347	9.0

结果显示，两颗低锂丰度的 RGB 星（$A(\mathrm{Li}) \approx 1.57$ 和 $A(\mathrm{Li}) \approx 1.57$）仅需吞噬 $4\, M_\oplus$ 和 $9\, M_\oplus$ 的岩质物质，这一量级在行星形成与演化理论框架下是合理的。然而，随着目标锂丰度的升高，如中等富锂的 RGB 星（$A(\mathrm{Li}) = 2.19$）需吞噬约 $61\, M_\oplus$，而极端富锂的 RC 星（$A(\mathrm{Li}) = 2.57$）的需求更是高达约 $179\, M_\oplus$（约 $0.55\, M_{\mathrm{Jup}}$）。考虑到典型类太阳恒星周围的岩质行星总质量通常远小于此数值，要求单颗恒星吞噬近半倍木星质量的岩质天体显然超出了常规行星系统的质量预算。这一现象表明，单一的岩质行星吞噬机制难以独立解释此类极端富锂现象。因此，对于高锂丰度的 RGB 与 RC 星，必须引入其他增丰机制以补充锂的来源。

为了进一步证实这 5 颗巨星确实经历过行星吞噬，我们计算了样本的 Hα 磁活动指标 $I_{\mathrm{H}\alpha}$。

该指标基于经过 RV 修正后的 HERMES 光谱，利用 ACTIN2 工具[①] 对样本中 271 颗富锂巨星进行测量，方法参考 Gomes da Silva 等人的研究 [52, 53]。

具体参数设置如下：Hα 线芯区域以 6 562.8 Å 为中心，采用 1.6 Å 为宽度；伪连续谱（pseudo-continuum）参考窗口分别取为 6 548.9 ± 2.0 Å 和 6 578.3 ± 2.25 Å，其位置与宽度如图 5 所示。该带宽的选择依据 Delgado Mena 等人[54] 的研究，其结果表明，基于 1.6 Å 为宽度定义的 $I_{\mathrm{H}\alpha}$ 与巨星色球活动的相关性最强。



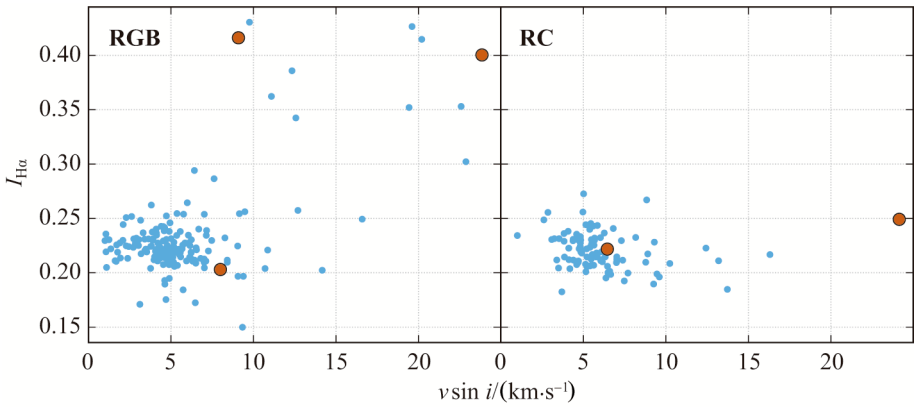
注：图中蓝线为伪连续谱的蓝端，红线为伪连续谱的红端，黄虚线为 1.6 Å 宽度边界，黄实线为 Hα 线芯。

图 5 HERMES 光谱中部分样本在 Hα 线附近的归一化光谱示例

结合 $I_{\mathrm{H}\alpha}$ 的测量结果与投影自转速度 $v \sin i$，我们发现某些候选体在转动与磁活动指标上也存在差异。通过图 6 可见，在 RGB 阶段，3 颗化学候选体中有 2 颗表现为高 $v \sin i$ 且高 $I_{\mathrm{H}\alpha}$ (其 $v \sin i > 9\,\mathrm{km \cdot s^{-1}}$ 且 $I_{\mathrm{H}\alpha} > 0.4$)，显著偏离普通富锂巨星的分布；而另一颗具有正 T_{c} 斜率的 RGB 星则位于低 $v \sin i$、低 $I_{\mathrm{H}\alpha}$ 区域。在 RC 阶段，尽管探测到一颗 $v \sin i \approx 24\,\mathrm{km \cdot s^{-1}}$ 的极快自转星，但其 $I_{\mathrm{H}\alpha} \approx 0.25$ 并未显著偏离正常样本。这一差异可能归因于富锂现象、化学污染信号、高自转及高磁活动指标等的演化时标不同，或吞噬行星的质量不同，导致观测时它们未必同步显现。

综合多维度证据，这 5 颗富锂巨星很可能在近期吞噬了岩质行星。其中，$\Delta[\mathrm{X/Fe}]$–T_{c} 的

[①] https://github.com/gomesdasilva/ACTIN2



注：图中红色大点为吞噬候选星，蓝色小点为其他样本星。

图 6　271 个富锂巨星的磁活动指标 $I_{H\alpha}$ 与投影自转速度 $v\sin i$ 的关系

正相关趋势可视为吞噬岩质行星物质的直接化学特征；而 Hα 发射的增强可能主要归因于吸积过程注入角动量，导致恒星自转加速，进而通过 α–Ω 发电机机制激发更强的色球活动。尽管理论上行星被潮汐瓦解后可能形成吸积盘并产生额外的 Hα 辐射，但本文识别的候选体以耐火元素增丰为特征，而耐火元素主要富集于质量较小的岩质行星中，其瓦解后难以形成显著吸积盘。因此，RGB 阶段高磁活动指标的目标星 Hα 增强更可能源于色球活动本身，而非吸积盘的贡献。

值得注意的是，在 271 颗样本中仅识别出 5 颗满足吞噬判据的候选体，占比约 1.8%。本文认为这一低比例的原因是吞噬事件所产生的化学与动力学特征会被巨星深厚的对流包层快速稀释，导致可观测时标极短。本文识别的 5 颗候选体可能仍处于相关化学特征尚未完全消失的阶段。对于绝大多数不呈现 T_c 相关趋势的富锂巨星，其锂增丰更可能源于内部机制，如 Cameron–Fowler 核合成过程及伴随的额外混合效应。这一结果凸显了富锂现象成因的多样性，并表明即使在发生行星吞噬事件的情况下，角动量、自转与色球活动之间的耦合关系亦高度复杂，未来需结合更多高精度观测数据综合进行分析。

5　总　结

基于 GALAH DR4 巡天数据，本文筛选出巨星样本并计算其磁活动指标 $I_{H\alpha}$，进而构建了一个包含 271 颗具有可靠参考丰度的富锂巨星样本。在此基础上，系统分析了各元素丰度偏差 Δ[X/Fe] 与凝结温度 T_c 的相关性，并据此识别出行星吞噬候选体。进一步分析了投影自转速度 $v\sin i$ 与 $I_{H\alpha}$ 指标，从化学、动力学和色球活动多个维度对吞噬事件的观测特征进行了综合检验。

最终，共识别出 5 颗行星吞噬候选体，包括 3 颗 RGB 星和 2 颗 RC 星，其 Δ[X/Fe]–T_c 关系均呈现显著正相关趋势，构成外部污染的直接化学证据。值得注意的是，RGB 阶段的候

选体中存在“锂增丰-快自转-强色球活动”现象，这一现象可能源于行星吞噬且注入角动量进而激发色球活动。尽管恒星演化至巨星阶段时半径显著膨胀，理论上应普遍吞没内轨道行星，但满足吞噬判据的候选体仅占样本的 1.8% 左右。这一结果的原因是：吞噬事件所产生的化学与动力学特征会被巨星深厚的对流包层迅速稀释，导致其可观测时标较短。此外，所需吞噬质量的估算结果证实，部分候选体的锂增丰无法单由岩质行星吞噬解释，必须引入其他额外机制。这些结果不仅为富锂巨星的外部污染机制提供了关键候选体，也深化了对富锂现象成因多样性的认识，并为恒星-行星系统协同演化理论的发展提供了观测样本。

参考文献：

[1] Cyburt R H, Fields B D, Olive K A, et al. Reviews of Modern Physics, 2016, 88: 015004
[2] 符晓婷, 邓李才, Kirby E N, 等. 天文学进展, 2012, 30: 453
[3] Coc A, Goriely S, Xu Y, et al. ApJ, 2012, 744: 158
[4] Deliyannis C P, King J R, Boesgaard A M, et al. ApJL, 1994, 434: L71
[5] Brown J A, Sneden C, Lambert D L, et al. ApJS, 1989, 71: 293
[6] Kumar Y B, Reddy B E, Lambert D L. ApJL, 2011, 730: L12
[7] Liu Y J, Tan K F, Wang L, et al. ApJ, 2014, 785: 94
[8] Casey A R, Ruchti G, Masseron T, et al. MNRAS, 2016, 461: 3336
[9] Kirby E N, Guhathakurta P, Zhang A J, et al. ApJ, 2016, 819: 135
[10] Deepak, Reddy B E. MNRAS, 2019, 484: 2000
[11] Gao Q, Shi J R, Yan H L, et al. ApJS, 2019, 245: 33
[12] Pabst C H M, Goicoechea J R, Teyssier D, et al. A&A, 2020, 639: A2
[13] Martell S L, Simpson J D, Balasubramaniam A G, et al. MNRAS, 2021, 505: 5340
[14] Wallerstein G, Sneden C. ApJ, 1982, 255: 577
[15] Delgado Mena E, Tsantaki M, Sousa S G, et al. A&A, 2016, 587: A66
[16] Li H, Aoki W, Matsuno T, et al. ApJL, 2018, 852: L31
[17] Yan H L, Shi J R, Zhou Y T, et al. Nature Astronomy, 2018, 2: 790
[18] Casey A R, Ho A Y Q, Ness M, et al. ApJ, 2019, 880: 125
[19] Zhou Y, Yan H, Shi J, et al. ApJ, 2019, 877: 104
[20] Sanna N, Franciosini E, Pancino E, et al. A&A, 2020, 639: L2
[21] Magrini L, Smiljanic R, Franciosini E, et al. A&A, 2021, 655: A23
[22] Wheeler A J, Hogg D W, Ness M. ApJ, 2021, 908: 247
[23] Singh R, Reddy B E, Bharat Kumar Y, et al. ApJL, 2019, 878: L21
[24] Yan H L, Zhou Y T, Zhang X, et al. Nature Astronomy, 2021, 5: 86
[25] Kumar Y B, Reddy B E. Journal of Astrophysics and Astronomy, 2020, 41: 49
[26] Deepak, Lambert D L, Reddy B E. MNRAS, 2020, 494: 1348
[27] Soares-Furtado M, Cantiello M, MacLeod M, et al. AJ, 2021, 162: 273
[28] Chanamé J, Pinsonneault M H, Aguilera-Gómez C, et al. ApJ, 2022, 933: 58
[29] Cameron A G W, Fowler W A. ApJ, 1971, 164: 111
[30] Eggleton P P, Dearborn D S P, Lattanzio J C. ApJ, 2008, 677: 581
[31] Cantiello M, Langer N. A&A, 2010, 521: A9
[32] Denissenkov P A, Herwig F. ApJ, 2004, 612: 1081
[33] Palacios A, Charbonnel C, Talon S, et al. A&A, 2006, 453: 261
[34] Alexander J B. The Observatory, 1967, 87: 238
[35] Siess L, Livio M. MNRAS, 1999, 304: 925
[36] Villaver E, Livio M. ApJL, 2009, 705: L81

[37] Adamów M, Niedzielski A, Villaver E, et al. ApJL, 2012, 754: L15
[38] Aguilera-Gómez C, Chanamé J, Pinsonneault M H, et al. ApJ, 2016, 829: 127
[39] De Silva G M, Freeman K C, Bland-Hawthorn J, et al. MNRAS, 2015, 449: 2604
[40] Buder S, Kos J, Wang X E, et al. PASA, 2025, 42: e051
[41] Sheinis A, Anguiano B, Asplund M, et al. Journal of Astronomical Telescopes, Instruments, and Systems, 2015, 1: 035002
[42] Sharma S, Stello D, Buder S, et al. MNRAS, 2018, 473: 2004
[43] Sahlholdt C L, Feltzing S, Feuillet D K. MNRAS, 2022, 510: 4669
[44] Wang T, Yuan H, Chen B, et al. ApJS, 2025, 280: 15
[45] Lodders K. ApJ, 2003, 591: 1220
[46] Meléndez J, Asplund M, Gustafsson B, et al. ApJL, 2009, 704: L66
[47] Chambers J E. ApJ, 2010, 724: 92
[48] Meléndez J, Bedell M, Bean J L, et al. A&A, 2017, 597: A34
[49] Spina L, Sharma P, Meléndez J, et al. Nature Astronomy, 2021, 5: 1163
[50] Sayeed M, Ness M K, Montet B T, et al. ApJ, 2024, 964: 42
[51] de la Reza R. A&A, 2025, 693: A98
[52] Gomes da Silva J, Figueira P, Santos N, et al. The Journal of Open Source Software, 2018, 3: 667
[53] Gomes da Silva J, Santos N C, Adibekyan V, et al. A&A, 2021, 646: A77
[54] Delgado Mena E, Gomes da Silva J, Faria J P, et al. A&A, 2023, 679: A94
[55] Lyubimkov L S. Astrophysics, 2016, 59: 411

Research on Li-rich Giants and Planetary Ingestion Based on the GALAH Survey

WANG Lingjiang[1,2], SONG Lianyun[1,2], BI Shaolan[1,2], LI Tanda[1,2]

(1. Institute for Frontiers in Astronomy and Astrophysics, Beijing Normal University, Beijing 102206, China; 2. School of Physics and Astronomy, Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

Abstract: Based on multi-wavelength observations from GALAH DR4, Gaia, 2MASS, and WISE, we identified five planetary-engulfment candidates that exhibit significant enrichment in refractory elements by analyzing the correlation between elemental abundance offsets and condensation temperature (T_c). In addition, by combining the chromospheric activity indicator ($I_{H\alpha}$) with the projected rotational velocity (v sin i), we further examined these candidates and found evidence that planetary engulfment plays a key role in the lithium-enrichment process. Our results suggest that while planetary engulfment is an important pathway to enhance stellar lithium abundances, for some stars with particularly high lithium levels a single engulfment scenario is insufficient to account for the observed properties, implying that additional mechanisms—such as internal nucleosynthesis and/or extra mixing—may also be required.

Key words: star; lithium-rich giants; chromospheric activity; planet engulfment