



中国科学院成都生物研究所

CHENGDU INSTITUTE OF BIOLOGY, CHINESE ACADEMY OF SCIENCES

绿色肥料增效剂生物发酵制备及应用

汇报人：闫志英 研究员

单位：中国科学院成都生物研究所

部门：环境治理与食品安全领域

2023 年 04 月 14 日



目录

□ 研究背景

□ γ -聚谷氨酸发酵氧调控

□ 秸秆廉价制备 γ -聚谷氨酸

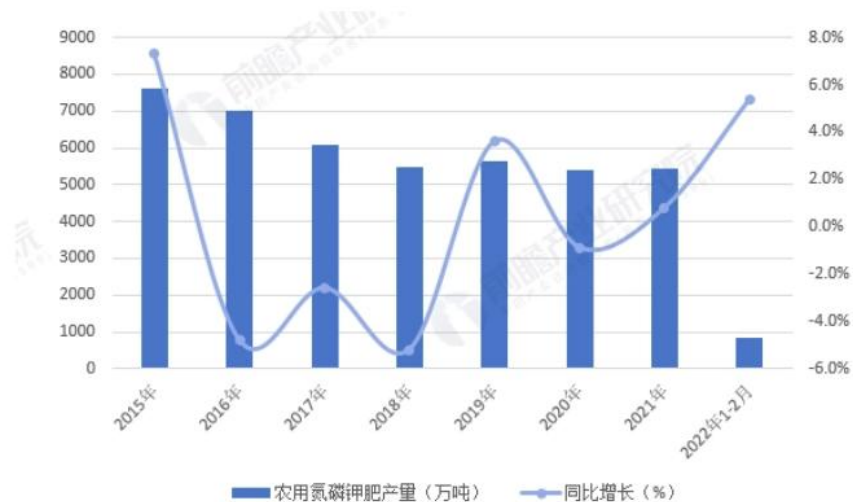
□ 相关成果与研究团队



01 研究背景

- γ -聚谷氨酸介绍
- γ -聚谷氨酸的性质及应用
- γ -聚谷氨酸的生产制备
- γ -聚谷氨酸生产现存问题

研究背景



中国肥料使用量年超过5000万吨



环境污染与农田生态系统破坏

- 我国用肥强度世界最大，为世界平均用肥量的3.75倍；
- 近年来，在国家实施“减肥增效”政策的背景下，2020年我国农用氮磷钾化肥产量不超过5400万吨;2021年有小幅增长，达到5446万吨；
- 我国肥料的养分利用率仅有30%左右，欧美农业发达国家一般在70%以上；
- 化肥滥用污染环境：土壤板结、水体污染、农田生态系统破坏。



新型、绿色、环保、
高效肥料增效剂急需研发。

研究背景

- **第一代肥料增效剂**：以添加中、微量元素、稀土元素等为主要手段，如含锌尿素、含硼复合肥等。

优势：在传统肥料的基础之上开辟新的功能特性，一定程度上吸引了广大消费者的眼球。

劣势：对提高肥料利用率并没有贡献，同时由于技术的局限性，增产效果也不是很明显。

- **第二代肥料增效剂**：以改良土壤、培肥地力为转折点，添加腐植酸、木质素、微生物肥料、土壤调理等为主要手段，如腐植酸尿素、腐植酸复合肥、硫包尿素、碱性土壤改良剂、硅酸盐微生物菌剂等。

优势：此种肥料着眼于改良土壤，培肥地力。

劣势：肥效缓慢，肥料易于流失，当季肥料利用率不高，同时科技含量较低，生产比较麻烦。

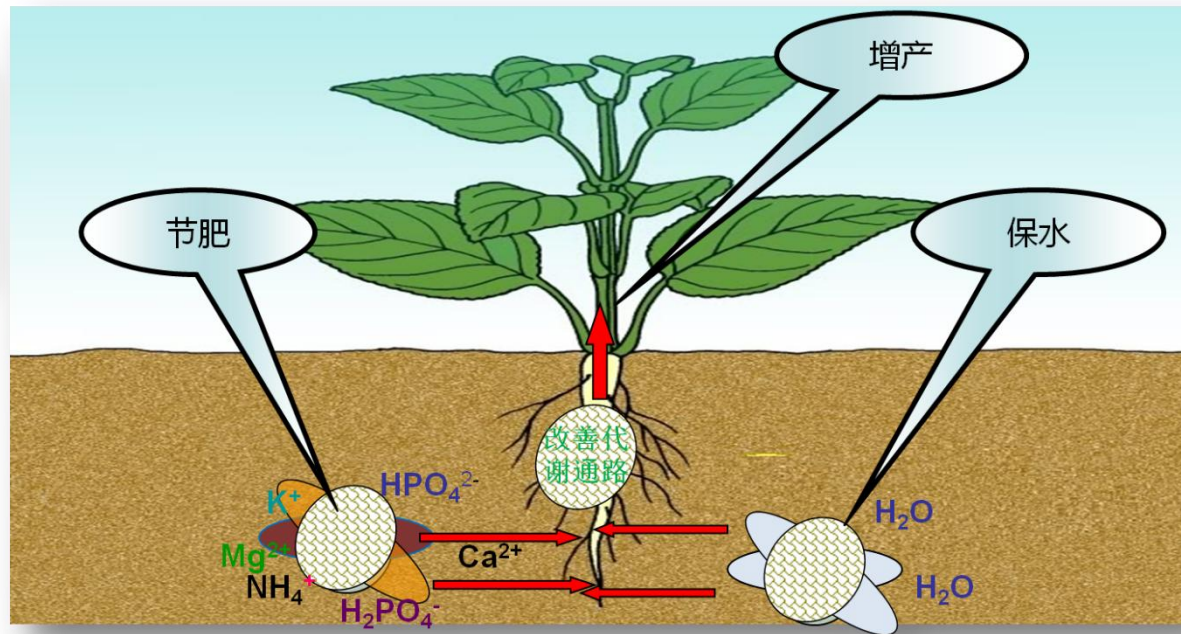
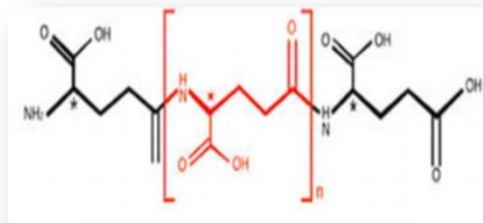
- **第三代肥料增效剂**：以高分子材料、脲酶抑制剂、硝化抑制剂为主要手段。以**聚天门冬氨酸**、**聚谷氨酸**为核心增效物质如，多肽尿素、双酶尿素、多肽尿素；以高分子材料（脲甲醛、聚氨酯等）为核心的脲甲醛树脂尿素、缓控释肥料增效剂、长效氮肥；以聚丙烯酰胺高分子吸水材料为核心的松土保水肥料。

优势：此类肥料以降低肥料的溶解度和延缓释放为主要特征，延长了肥料的作用时间，对当代肥料产业与农业生产发挥了很大作用。

劣势：受土壤湿度、温度、pH、微生物活动等影响波动较大，释放的速度难以人为控制，只能起到减缓释放的作用，与作物的需肥规律不能进行有效的吻合。



研究背景



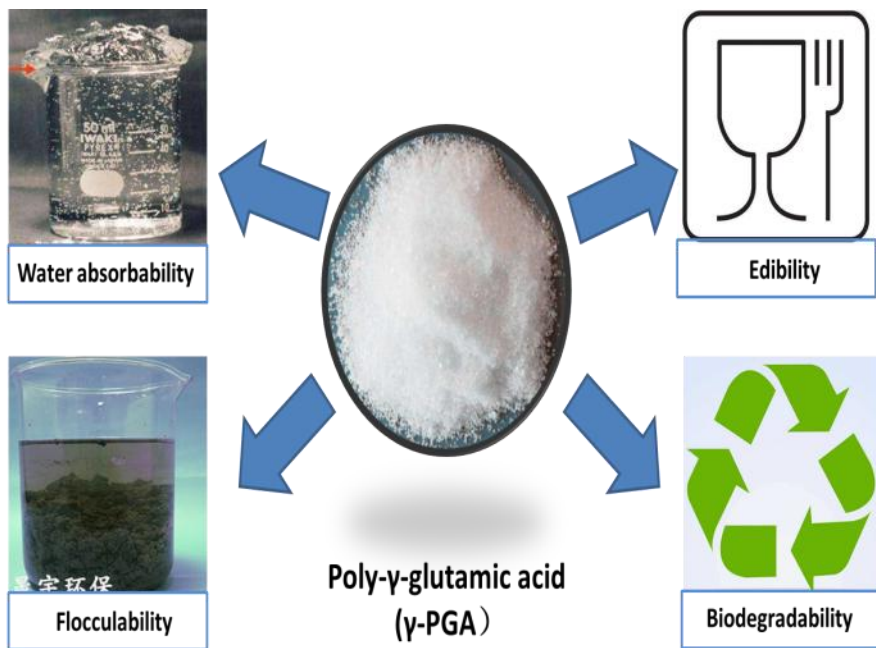
- 聚谷氨酸 (γ -PGA)，微生物发酵合成的高分子聚合物，具有优良的水溶性、超强的吸附性和生物可降解性，是**环保型高分子材料和绿色肥料增效剂**；
- γ -PGA功能生物肥，**第三代微生物肥料增效剂**，以聚谷氨酸为核心增效物质，掀起了肥料产业一次大革命；
- 与传统肥料增效剂相比， γ -PGA的主链上存在大量游离羧基，能大量吸附 NH_4^+ 和 K^+ 等养分离子和水分子，对肥料和水分起到很好的缓释作用，减少肥料淋失和施用量；
- **γ -PGA改善植物代谢通路**，促根促芽，增加作物产量。

研究背景

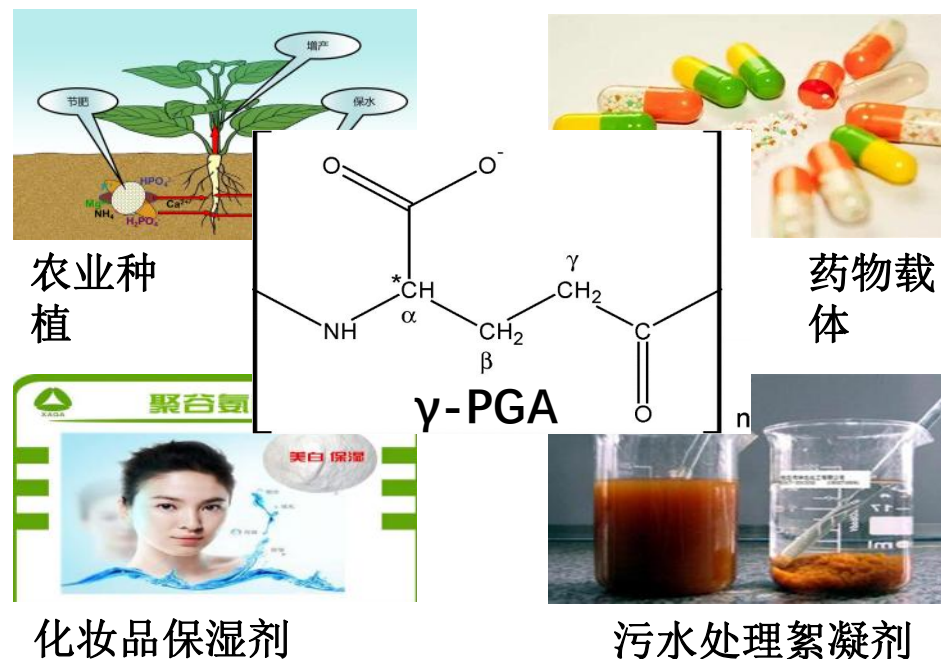
1.1

γ-聚谷氨酸的性质及应用

- **γ-聚谷氨酸(poly-γ-glutamic acid, γ-PGA)** 具有良好的水溶性、吸附性、吸水性等优良性能, 而且安全无毒、可生物降解, 是一种**环境友好型的新材料**;
- 因其优良特性, γ-PGA已广泛用于农业、医药、化妆品、食品、污水处理等多个领域, 具有较高的经济价值。



γ-PGA的优良特性

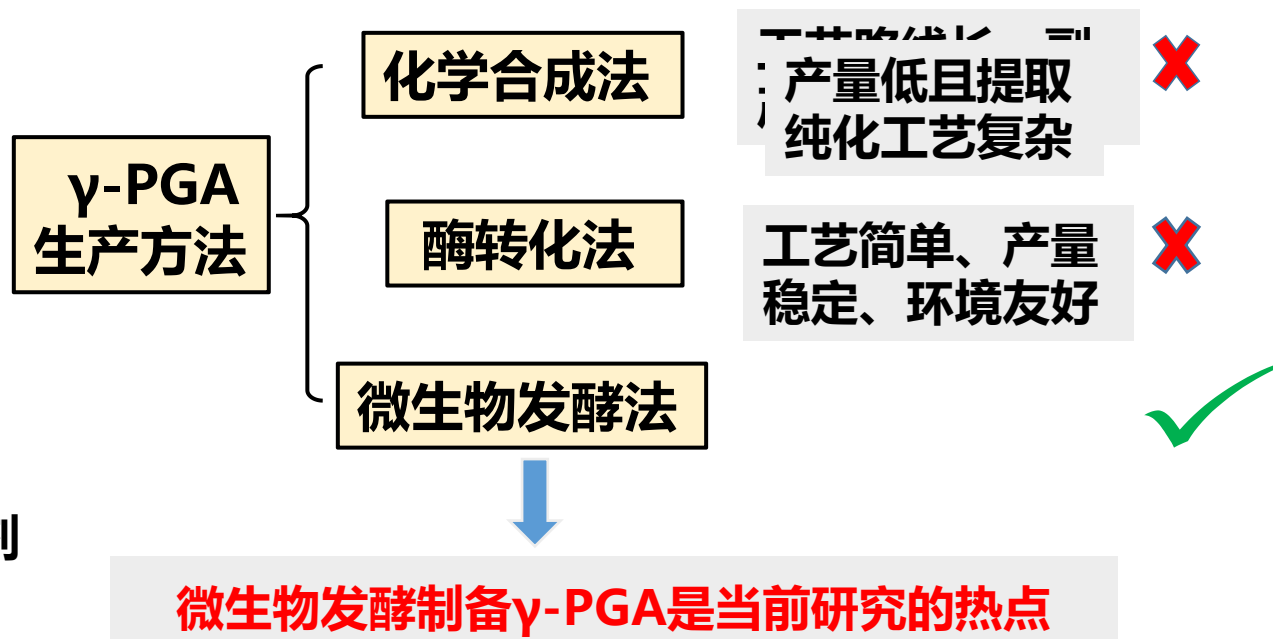
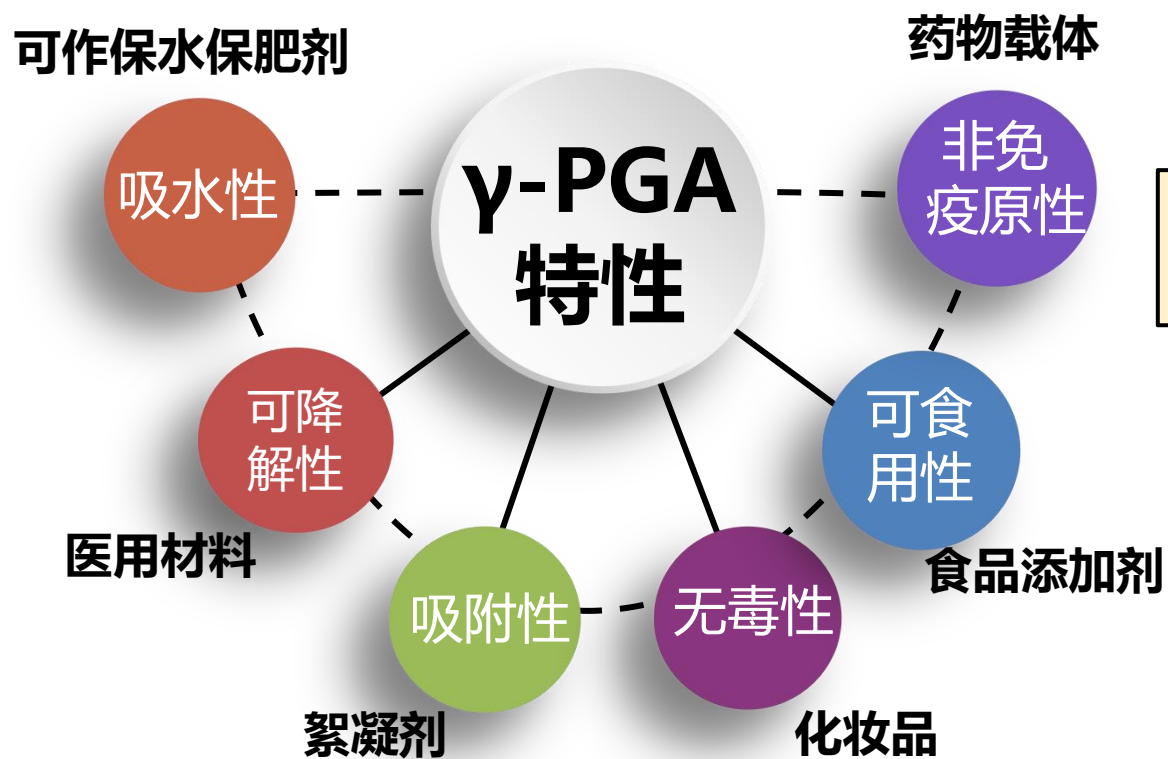


γ-PGA的多领域应用

研究背景

1.3

γ-聚谷氨酸的制备现状

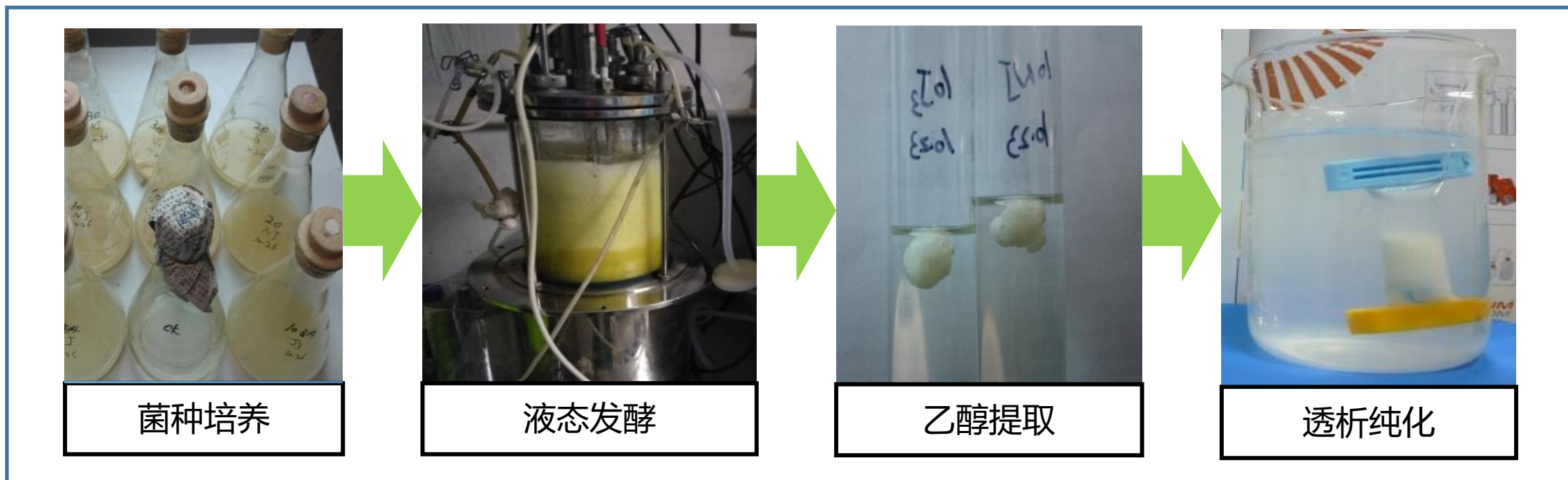


研究背景

1.3

γ -聚谷氨酸的制备现状

- 现阶段， γ -PGA发酵主要是通过各类芽孢杆菌经过液体深层发酵制备；
- 最常用发酵设备为通气式机械搅拌发酵罐；原料为葡萄糖、柠檬酸、甘油、谷氨酸钠等。



γ -PGA的生产流程示意图

研究背景

1.4

γ-聚谷氨酸制备的瓶颈问题

- γ-PGA发酵存在严重的**溶氧限制**，**效率不高**



Richard et al., 2003

- γ-PGA发酵原料精细昂贵，**成本过高**、**威胁粮食安全**





02 γ -聚谷氨酸发酵氧调控

- 研究背景
- 技术路线
- γ -PGA发酵氧调控策略建立
- 技术应用与转化

γ -聚谷氨酸发酵氧调控

2.1

γ -PGA发酵氧调控研究背景

• 现有研究多集中在提高 γ -PGA发酵的供氧量

γ -PGA发酵供氧量提高

优化搅拌速率和通气量

Bajaj et al.,2010; Zhang et al.,2011

表达透明颤菌血红蛋白

Su et al.,2010; Zhang et al.,2013

发酵液添加携氧剂

Zhang et al.,2012; de Cesaro et al.,2013

通加富氧空气

Zhang et al.,2012

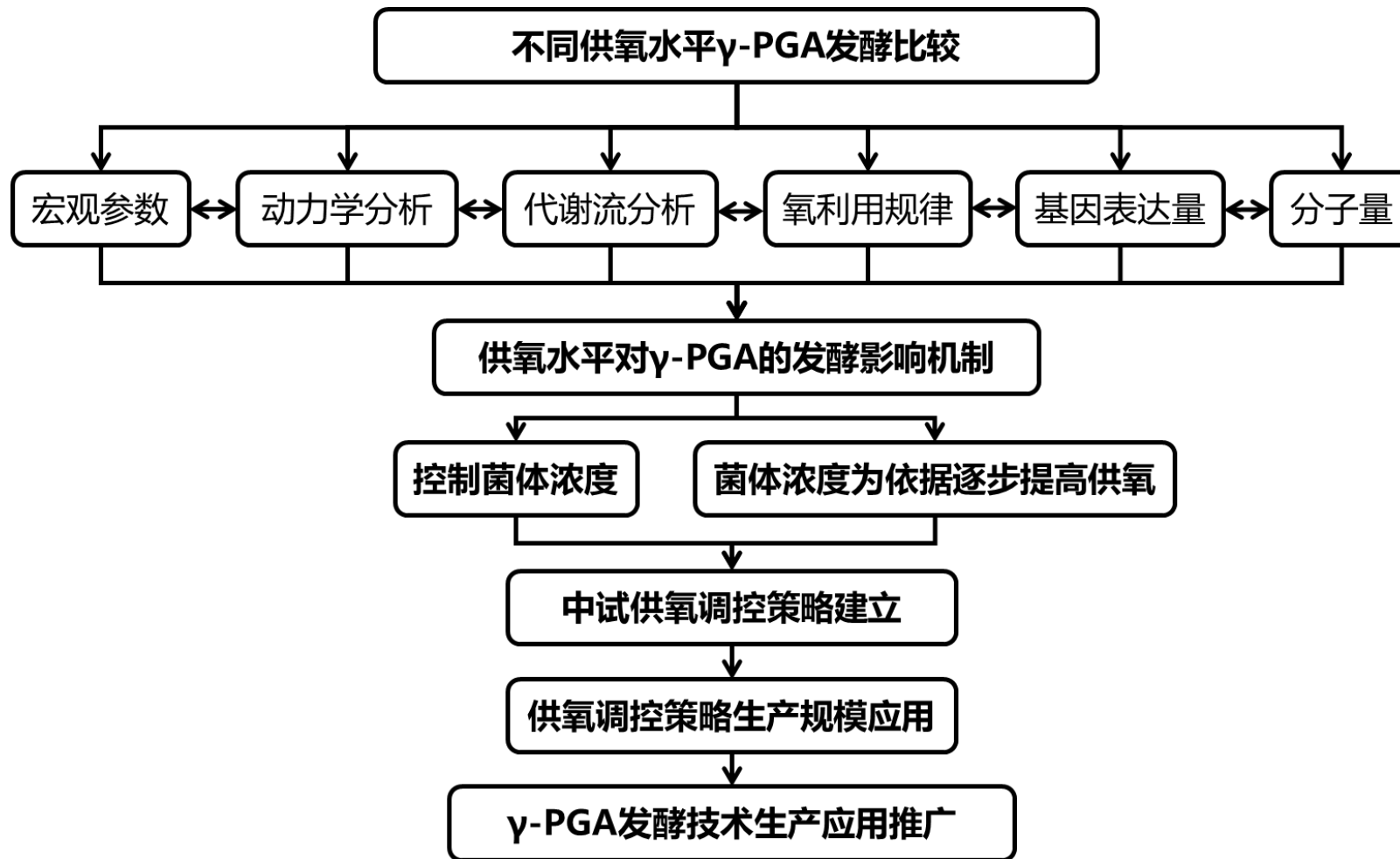
一定范围内提高供氧可以促进 γ -PGA合成，
并非供氧水平越高、产量越高

- 1、未系统研究供氧水平对 γ -PGA合成的影响机制，供氧量的提高缺乏针对性；
- 2、仅依据 γ -PGA最终产量进行供氧策略改变，忽略了对微生物生理状态的关注。

γ -聚谷氨酸发酵氧调控

2.2

γ -PGA发酵氧调控技术路线



γ -聚谷氨酸发酵氧调控

2.3

供氧水平对 γ -PGA 发酵的影响机理-设计思路

- 使用专利菌株 *Bacillus subtilis* JJ-2，系统比较不同供氧水平下 γ -PGA 批次发酵，以探究供氧水平的影响机理；
- 实验在100L的**中试规模**发酵罐中进行，对工业生产更具有指导意义。

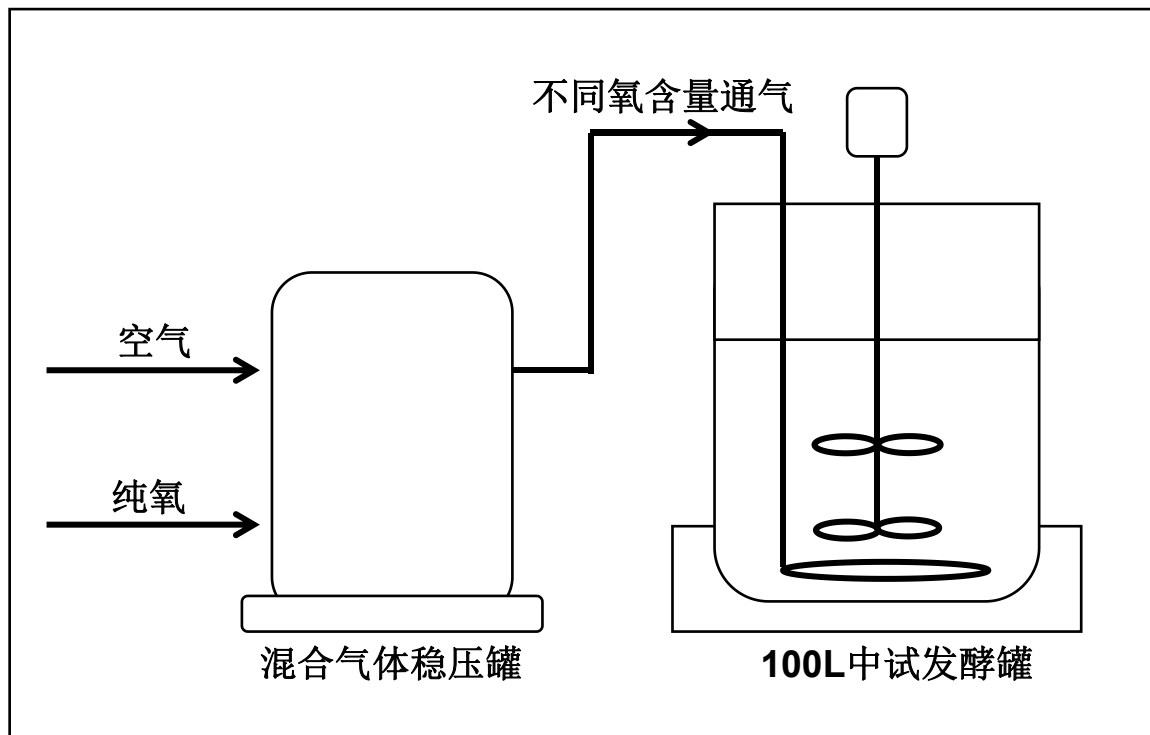


表 1. 不同供氧水平下 γ -PGA 发酵条件

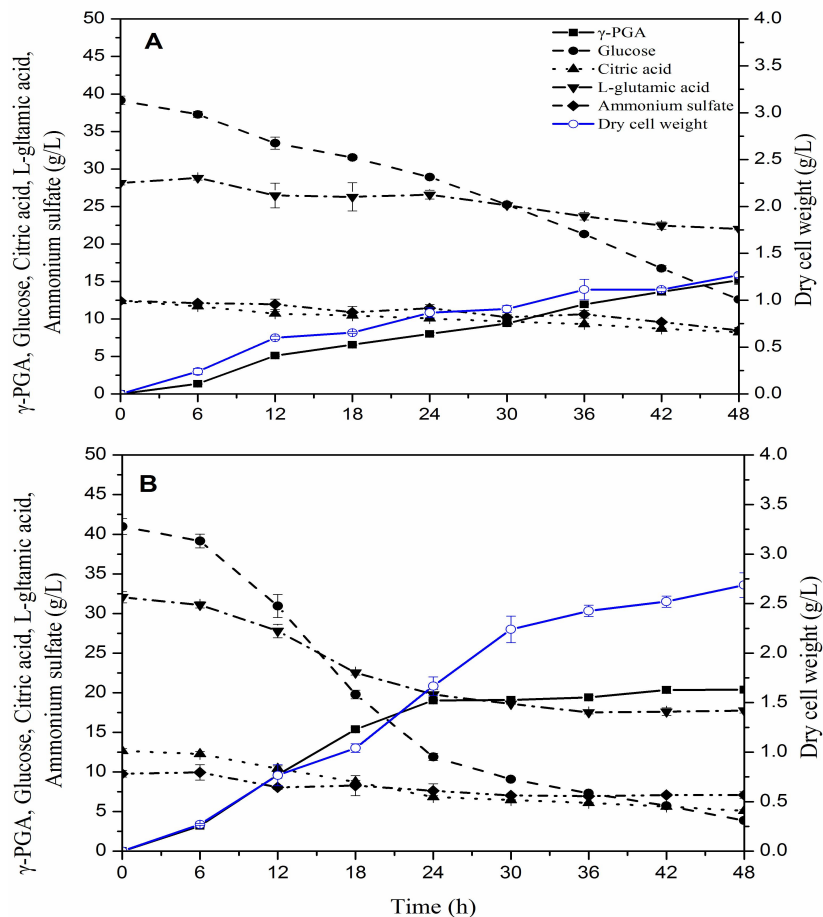
组别	供氧水平* (通气中氧分压)	纯O ₂ 和空气比例	发酵条件
低供氧	21.0%	0:1	接种量7%、最适培养基组分、装样量为50%、初始pH为6.5-7.0、温度35°C、搅拌转速200rpm、通气量为1vvm,发酵48h。
高供氧	40.7%	1:3	

* 不同供氧水平梯度：仅改变通气中氧分压，以达到实验设计的单一变量原则。

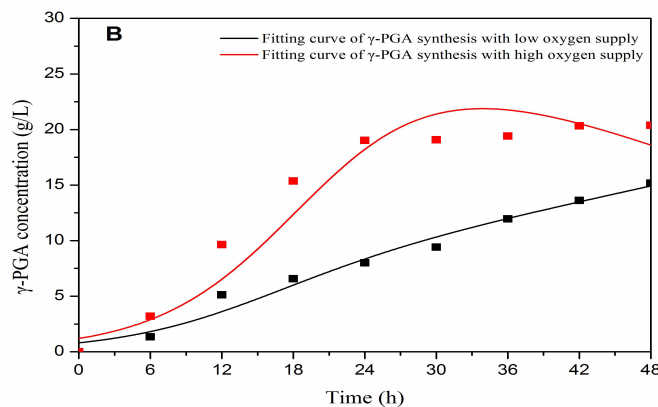
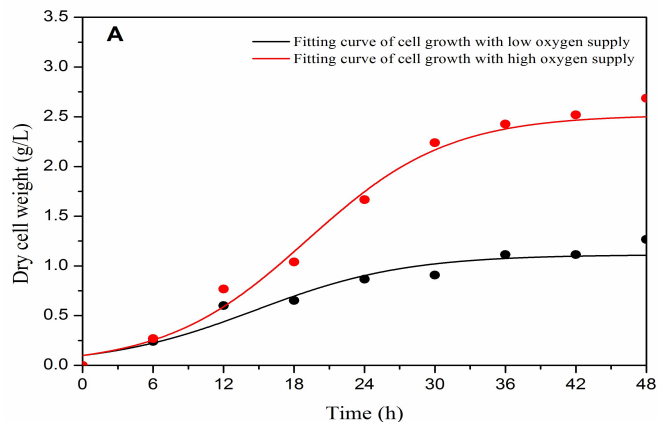
γ -聚谷氨酸发酵氧调控

2.3

供氧水平对 γ -PGA 发酵的影响机理-宏观参数和动力学



不同供氧水平下 γ -PGA发酵时间曲线：
A低供氧组、B高供氧组



不同供氧水平下 γ -PGA发酵动力学模型分析：A细胞生长 (Logistic方程)、B产物合成 (L-P方程)

- **发酵曲线比较：**提高供氧水平可以提高最终细胞浓度和 γ -PGA产量，但是底物转化率和单位菌体的比生产速率明显降低。

简单提高供氧量不能完全解决 γ -PGA发酵中的问题

- **动力学模型比较：**提高供氧水平会造成菌体过量生长；随着菌体浓度提高 γ -PGA合成速率减慢、甚至停止。

过量菌体可能不利于对 γ -PGA发酵

γ-聚谷氨酸发酵氧调控

2.3

供氧水平对 γ-PGA 发酵的影响机理-氧利用规律



尾气分析法测定OUR

表2. 不同发酵阶段氧气利用规律

Time (h)	DO (mg/L)		OUR [mmol/(L·h)]		qO ₂ [mmol/(g·h)]	
	Low	High	Low	High	Low	High
0	6.48 ± 0.11	10.83 ± 0.02	0	0	0	0
6	0	0	6.63 ± 0.80	58.26 ± 6.07	27.59 ± 3.35	215.58 ± 22.45
18	0	0	5.40 ± 0.46	29.60 ± 5.37	8.27 ± 0.71	28.46 ± 5.16
30	0	0	5.89 ± 0.26	10.94 ± 2.28	6.50 ± 0.29	4.89 ± 1.02

*DO为溶解氧浓度、OUR为单位体积耗氧速率、qO₂为单位菌体的比耗氧速率；
其中 $OUR = OTR - \Delta DO / \Delta t = qO_2 * X$

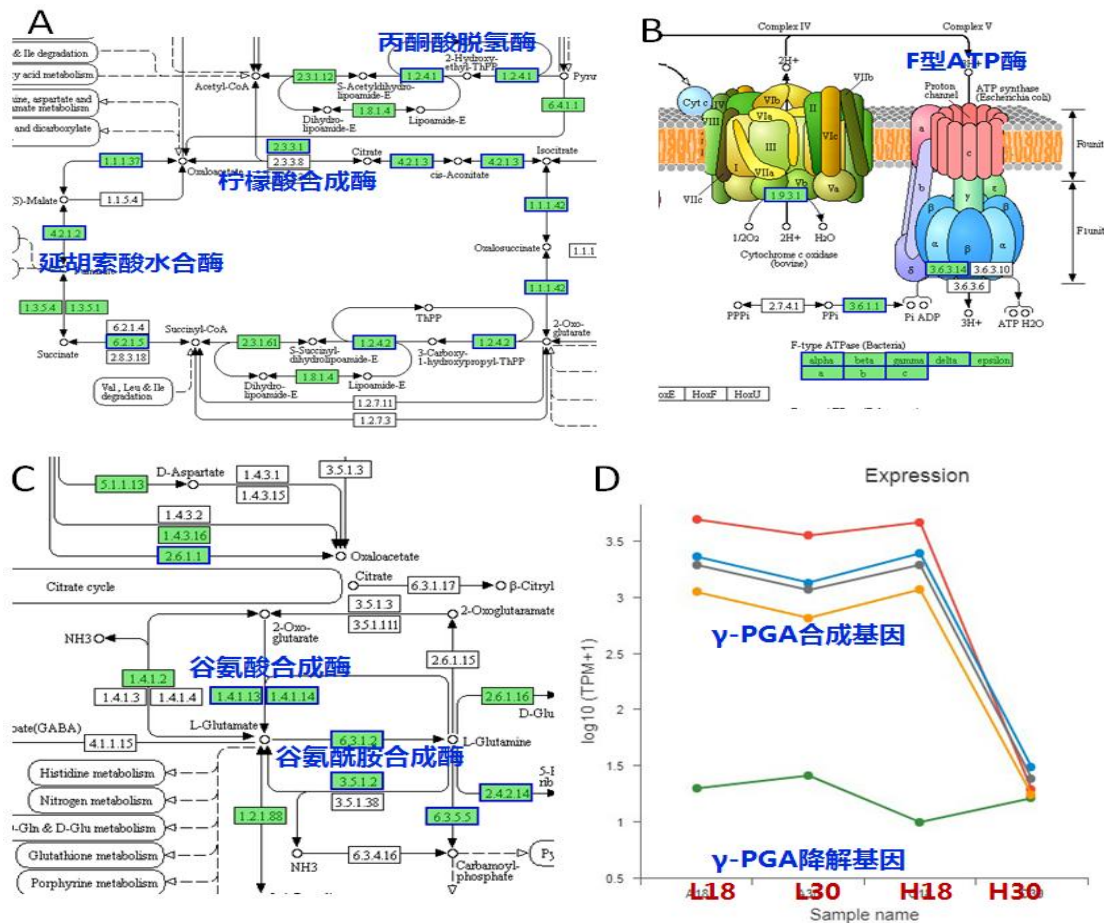
- 两实验组均出现了溶氧限制，发酵早期 (< 6h) 氧气便供不应求，DO降为0、消耗量即为供应量 (OUR=OTR)，qO₂也代表了单位菌体的氧气获得量。
- 高供氧组的供氧速率 (OTR) 全程显著高于低供氧组 (P < 0.05)，但是过高的菌体密度致使单位菌体所能获得的氧气量比低供氧组还要少 (qO₂仅4.89 mmol/(g·h))



不同供氧水平下均出现供氧抑制，高供氧的过量菌体更是加剧了供氧抑制。

γ-聚谷氨酸发酵氧调控

2.3 供氧水平对 γ-PGA 发酵的影响机理-转录组分析



- 发酵前期 (18h) 提高供氧可使碳代谢基因显著上调：特别是TCA循环中丙酮酸脱氢酶、柠檬酸合成酶、乌头酸水合酶、延胡索酸水合酶；
- 发酵前期 (18h) 提高供氧可使能量代谢基因显著上调：特别是氧化磷酸化中F型ATP酶的α、β、γ、δ亚基等11个基因；
- 发酵前期 (18h) ，提高供氧可使谷氨酸前体合成基因上调：谷氨酸合成酶、谷氨酰胺合成酶等9个基因显著上调；
- 发酵后期 (30h) ,高供氧组溶氧抑制，上述通路无差异；
- γ-PGA合成基因的表达直接受供氧水平调控：各样品合成基因表达量与qO2显著相关，皮尔森系数高达0.848。



γ-PGA合成相关基因转录差异分析 (KEGG通路富集分析)：A TCA循环；B氧化磷酸化；C谷氨酸代谢；D γ-PGA合成酶编码基因

供氧水平可以调控底物分解、能量产生、谷氨酸代谢和γ-PGA合成等相关基因的表达，保证充足的氧气供应对γ-PGA合成至关重要。

γ -聚谷氨酸发酵氧调控

2.3

供氧水平对 γ -PGA 发酵的影响机理-供氧影响机理

● 供氧水平提高:

可以改善代谢通量分布、提高 γ -PGA合成相关基因表达

发酵前期:

细胞快速生长, γ -PGA合成迅速

● 菌体过量生长:

底物大量消耗、供氧限制加剧、相关基因表达抑制、降解程度加大

发酵后期:

γ -PGA合成停止、底物转化率变低、单位菌体生产效率下降

简单提高供氧会造成菌体“疯长”，不能完全解决 γ -PGA发酵中溶氧限制的问题

- 反应器供氧能力有限, 供氧调控时应控制菌体浓度, 以防过量菌体造成平均氧获得量不足;
- γ -PGA积累后发酵体系供氧被限制, 供氧水平不应固定不变, 要随菌体浓度而增加、保证单位菌体有足够的氧获得量。

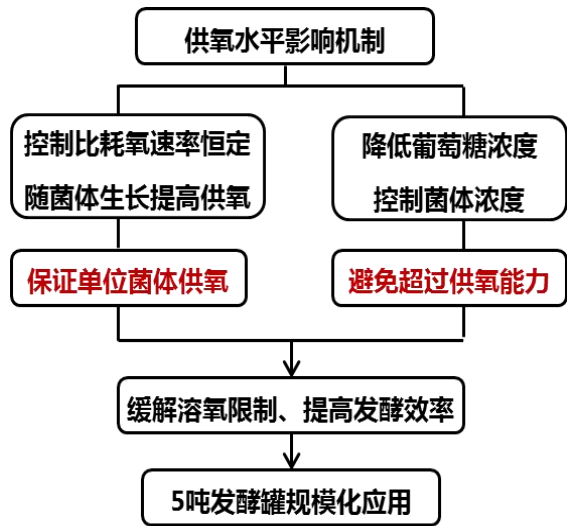
γ-聚谷氨酸发酵氧调控

2.4 γ-PGA发酵氧调控策略建立-以比耗氧速率为依据的实时供氧调控

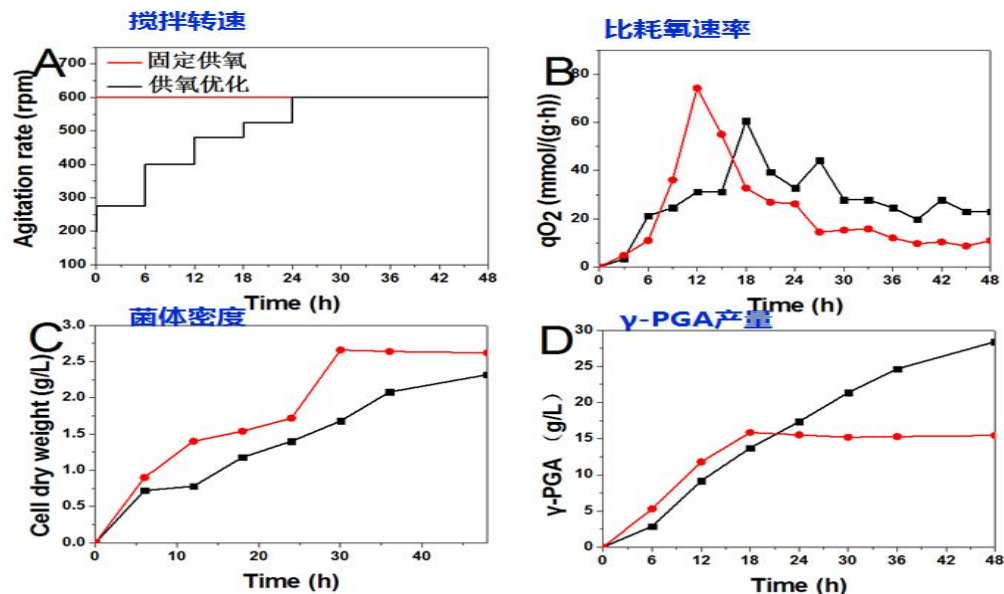
氧调控策略: 补料的方式降低底物浓度 (葡萄糖10-15g/L), 控制菌体浓度, **避免细胞疯长、超过发酵罐供氧上限**; 实时测定发酵中的比好氧速率 (qO_2), 维持 qO_2 在28.46mmol/(g·h)恒定, **随着菌体浓度增高, 相应的提高供氧, 保证单位菌体供氧量。**



比耗氧速率 (qO_2) 实时测定发酵罐



γ-PGA实时供氧调控策略



γ-PGA发酵的供氧调控优化、比较: A搅拌转速; B比耗氧速率; C菌体密度; D γ-PGA浓度 (对照组供氧恒定)

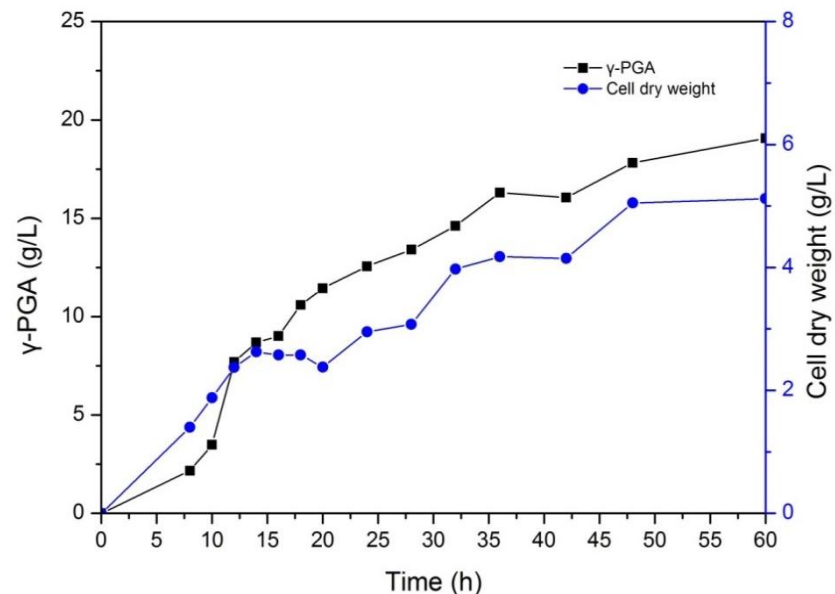
- 随发酵进行, 搅拌转速提升, 后期 $qO_2 > 20$ mmol/(g·h), 保证了单位菌体氧供应量;
- 菌体生长得到控制, 最终菌体密度下降12.93%;
- 解除后期抑制, γ-PGA合成速率无明显下降, 终产量提高83.88%。

γ -聚谷氨酸发酵氧调控

2.5

γ -PGA发酵氧调控策略-生产规模应用

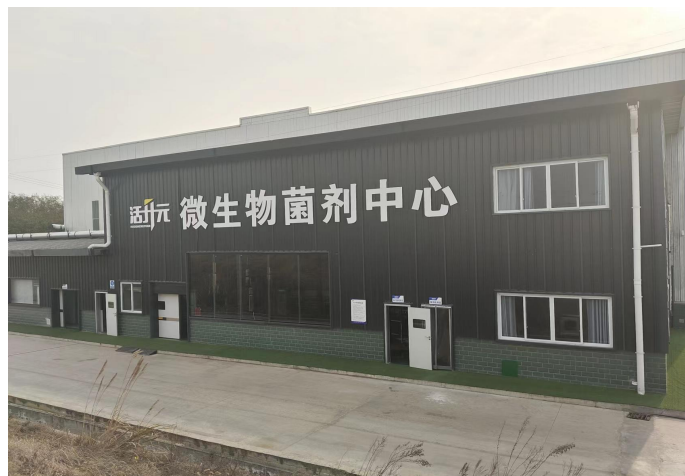
- **氧调控策略生产规模应用:** 与成都金开生物公司合作, 在5m³发酵罐中, 补料的方式维持低葡萄糖浓度, 同时结合可移动式氧气探头, 测定尾气氧利用情况, 随着菌体浓度升高, 提高供氧。



- 依据中试水平的氧调控策略, γ -PGA发酵工艺放大到5m³的生产规模取得了初步成功, γ -PGA产量为19.07g/L,最终菌体获得量为5.12 g/L ;
- 与中试水平相比, 生产规模 γ -PGA发酵的供氧调控比较粗放, 有待于进一步优化提高。

γ -聚谷氨酸发酵氧调控

2.5 应用成果与转化

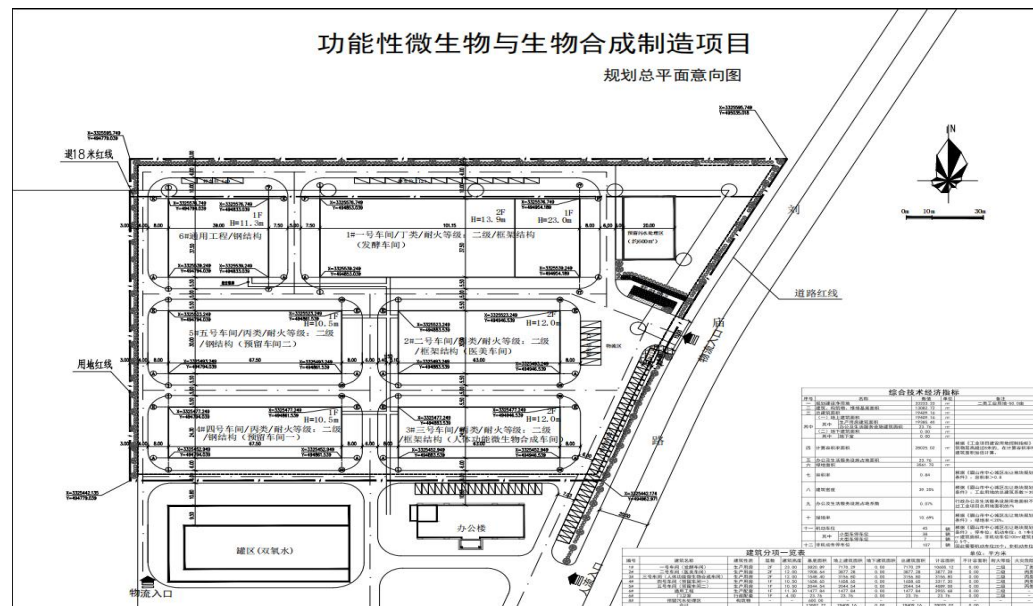


- 与绵阳台沃科技集团股份有限公司开展战略合作，联合构建了微生物菌剂生产中心，成功进行 γ -聚谷氨酸规模化发酵，高分子 γ -PGA产量达30-40g/L，低分子产量达40-50g/L;
- 积极筹备下一阶段合作，在新疆阿克苏进行 γ -聚谷氨酸的更大规模生产及推广销售。

γ -聚谷氨酸发酵氧调控

2.6

金象赛瑞化工股份有限公司



- 与眉山金象赛瑞化工股份有限公司合作，共同承担中央在川重大成果转化项目，进行聚谷氨酸规模化发酵和新型肥料开发；
- 以科研项目为依托，金象拟投资2亿元，建设西南最大功能性微生物与生物合成制造项目，进行功能微生物、聚谷氨酸、鼠李糖脂等的规模化生产、销售。



03 秸秆廉价制备 γ -聚谷氨酸

- 研究背景
- 技术路线
- 固体发酵生产 γ -PGA
- 同步糖化发酵生产 γ -PGA
- 应用与转化

秸秆廉价制备 γ -聚谷氨酸

3.1

秸秆生产 γ -PGA研究背景

- 我国秸秆产量大，消纳困难；现有转化技术落后，产品低值



2011-2019年中国秸秆产量统计 (单位: 亿吨)



秸秆焚烧危害环境



秸秆堆肥、经济价值低，无吸引力

- 木质纤维素材料已尝试用于 γ -PGA生产，主要使用分步糖化发酵 (SHF) 方式



稻草、玉米芯、玉米秸秆等

强酸、强碱预处理

酸性、高热水解为单糖

石灰脱毒、水解液浓缩

常规 γ -PGA液体发酵

步骤繁琐
费工费力

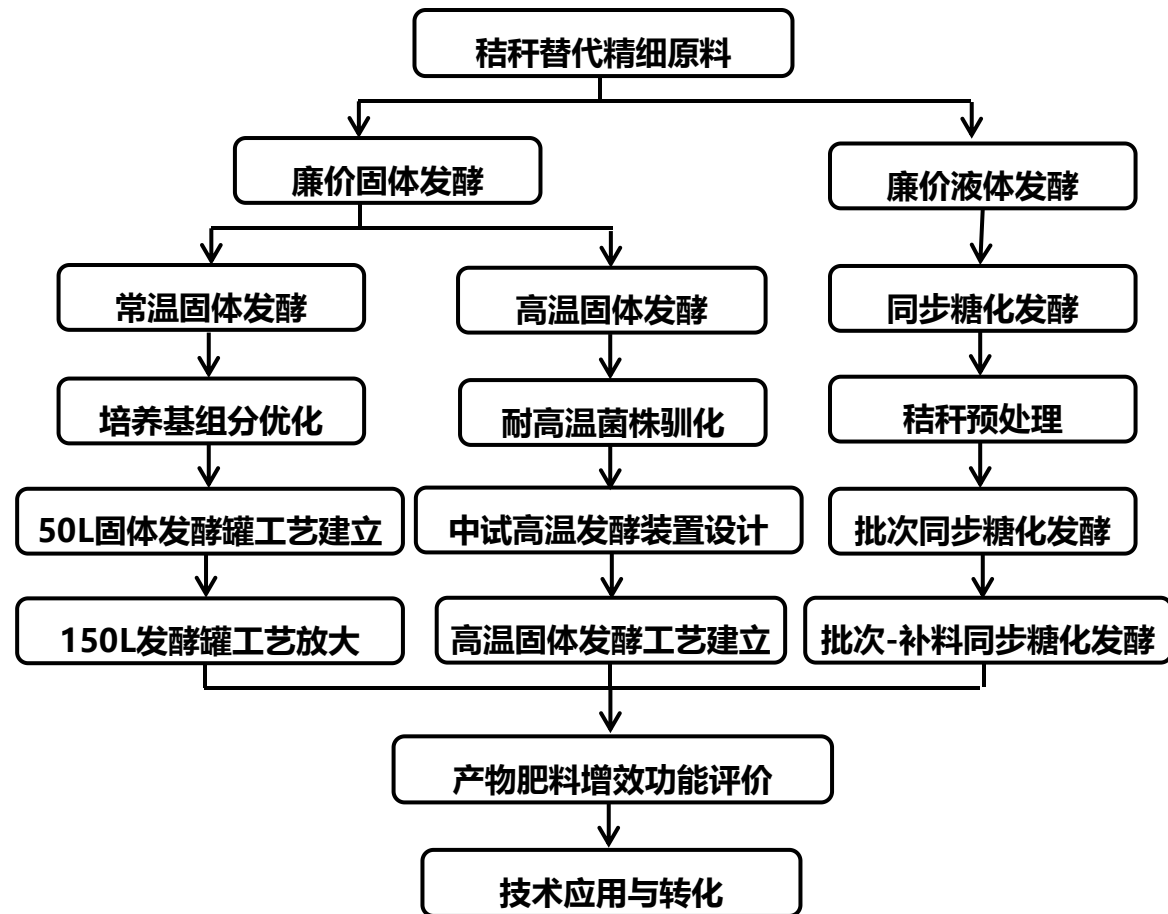
大量废水、废渣污染环境

Tang et al., 2015; Zhu et al., 2013

秸秆廉价制备 γ -聚谷氨酸

3.2

γ -PGA廉价制备技术路线

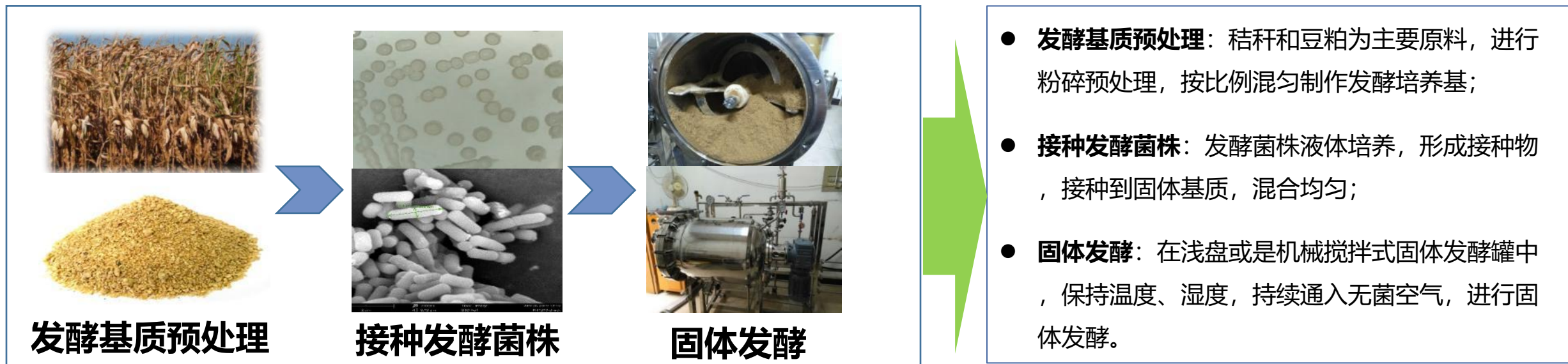


秸秆廉价制备 γ -聚谷氨酸

3.3

常温固体发酵生产 γ -PGA - 技术流程

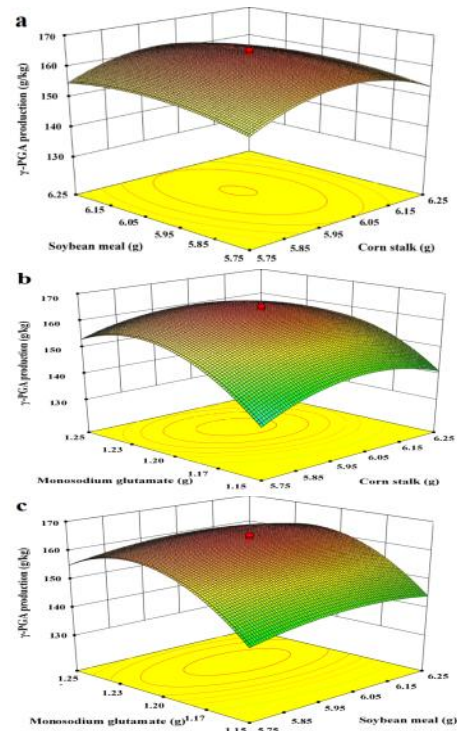
- 固体发酵 (solid-state fermentation) 使用秸秆、豆粕为主要原料，使用菌株JX-6进行 γ -PGA**常温 (35°C)** 固体发酵，操作简便、无污水产生，发酵产物可直接作为肥料增效剂，应用于作物种植。



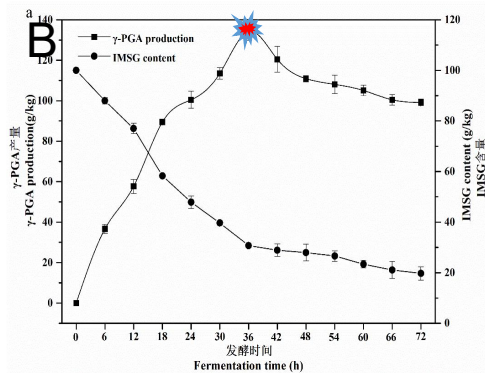
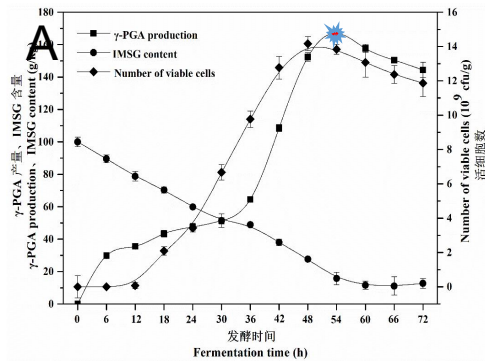
常温固体发酵技术流程示意图

秸秆廉价制备 γ -聚谷氨酸

3.3 常温固体发酵生产 γ -PGA - 工艺优化及规模放大



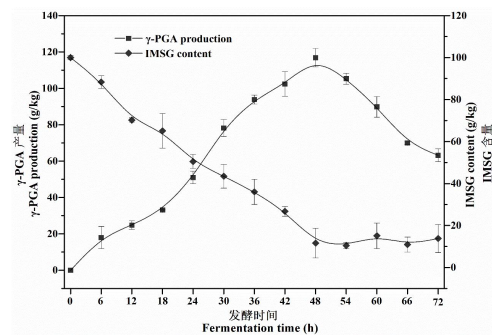
响应面方法培养基组分优化



实验室规模不灭菌发酵尝试:
A灭菌, B不灭菌



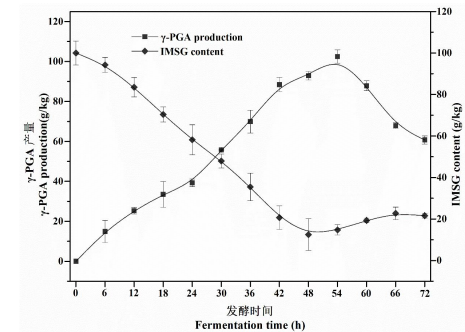
50 L bioreactor



50L固体发酵罐工艺放大



150 L bioreactor



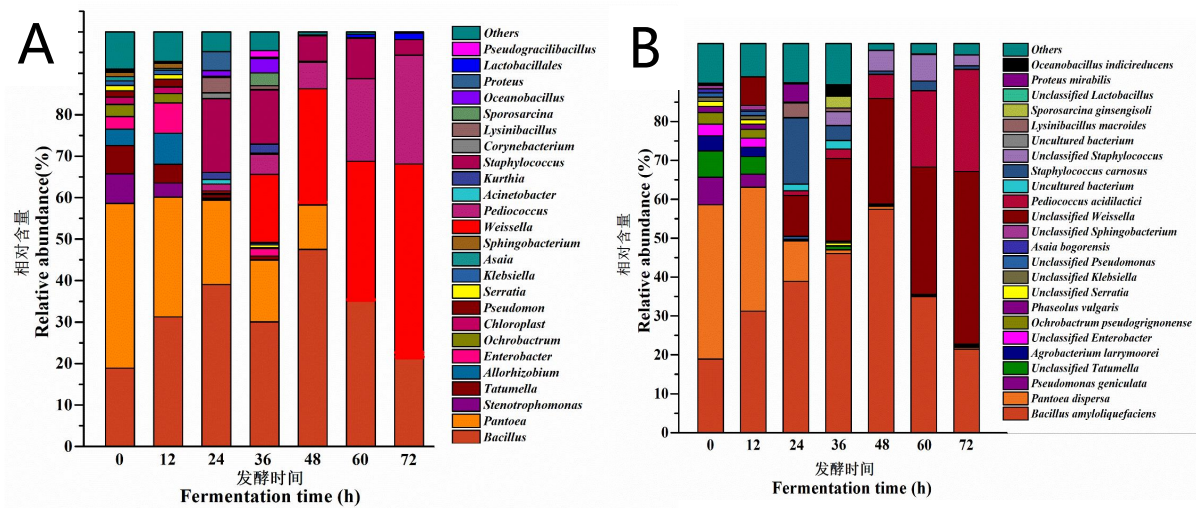
150L固体发酵罐工艺放大

- 最优培养基组分：秸秆、豆粕以及味精的最终添加比例为5: 5: 1。
- 实验室级别：灭菌条件 γ -PGA最高产量达到 166.99 ± 1.94 g/kg;不灭菌条件下 γ -PGA最高产量为 134.25 ± 4.38 g/kg; 两者差异不大。
- 发酵规模放大：50L发酵罐中最大产量为 116.88 ± 5.05 g/kg, 150L发酵罐中最大产量为 102.48 ± 3.30 g/kg。

秸秆廉价制备 γ -聚谷氨酸

3.3

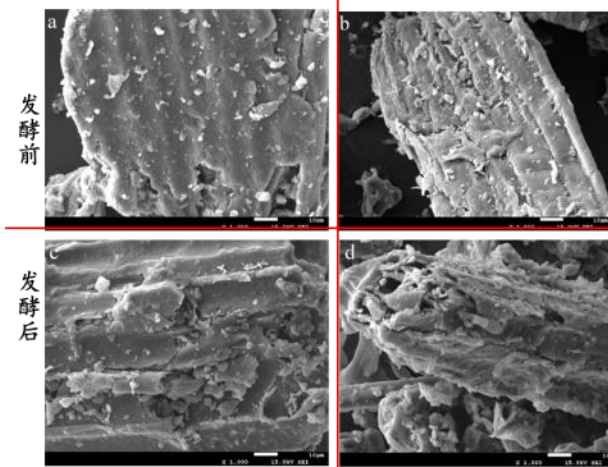
常温固体发酵生产 γ -PGA - 发酵后产物分析



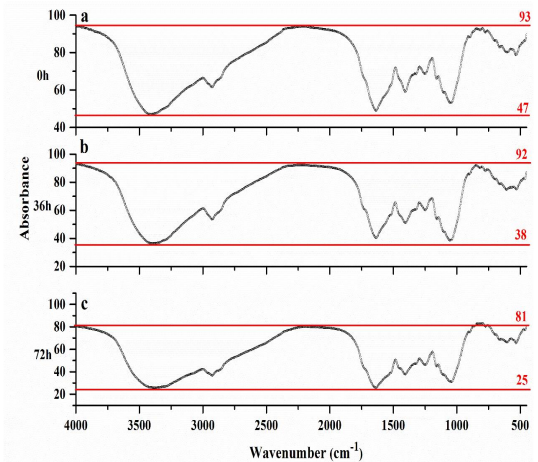
微生物群落变化 (a) 属水平(b) 种水平

150L发酵罐体系下产物中属水平和种水平的微生物群落复杂；其中发酵菌株JX-6占据优势地位。

扫描电镜图 秸秆



红外光谱图



木质纤维素含量

	纤维素(%)	半纤维素(%)	木质素(%)
发酵前	28.55 ± 1.03	22.37 ± 2.92	6.25 ± 0.15
发酵后	20.61 ± 0.76	16.11 ± 0.88	5.69 ± 0.52

发酵后，固体基质的表面形态明显破坏、主要官能团吸收峰值以及木质纤维素含量均发生变化

秸秆廉价制备 γ -聚谷氨酸

3.4 高温固体发酵生产 γ -PGA - 技术流程

- 针对常温固体发酵中**热量囤积、控温困难、设备要求高、难以放大规模**等问题，筛选耐热 γ -PGA合成菌株，以稻草、豆粕、玉米粉等原料，进行**非灭菌的高温固体发酵**，节约大量控温、灭菌的能耗投入。

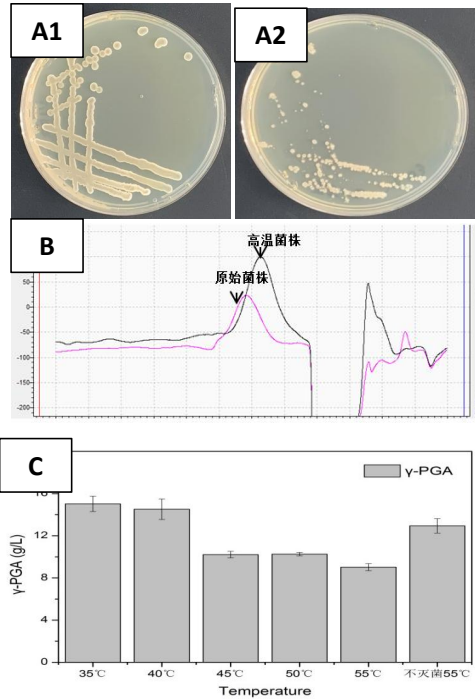
常温/高温固体发酵技术要点比较

比较	传统中低温固体发酵	高温固体发酵
合成温度	普通 γ -PGA菌株、合成温度30-40°C	耐热 γ -PGA菌株，合成温度35-55°C
发酵温度	热量囤积、高温阶段50-70°C， γ -PGA合成抑制	利用发酵热，维持 发酵温度50-60°C ， γ -PGA正常合成
能量投入	控温需频繁翻堆、通气；灭菌能量投入	高温发酵 减少翻堆、通气次数 ；高温抑制杂菌、 非灭菌发酵
设备投入	需要使用可控温、控湿的专用固体发酵罐或发酵车间	简易的发酵装置或条垛式发酵

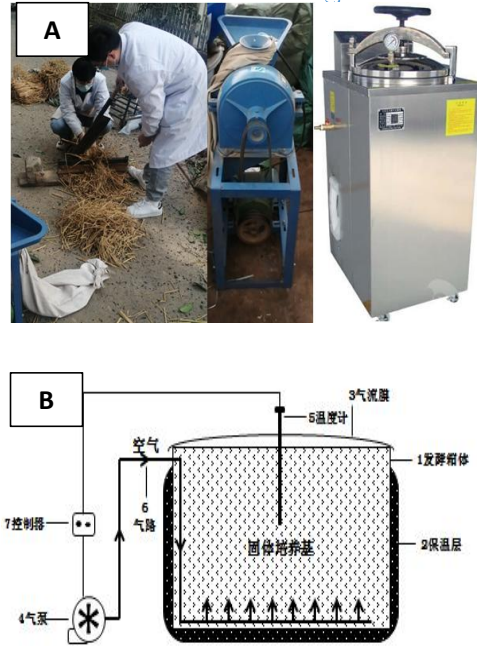
- **耐热菌株驯化**：菌株JX-6的 γ -PGA合成温度较为宽泛，以此出发梯度升温驯化，获得耐热 γ -PGA合成菌株；
- **高温固体发酵装置设计**：设计简易的 γ -PGA高温固体发酵装置，满足通风、控温要求；
- **高温固体发酵**：以稻草、玉米粉、豆粕、味精为主要原料，非灭菌条件下静置高温固体发酵。

秸秆廉价制备 γ -聚谷氨酸

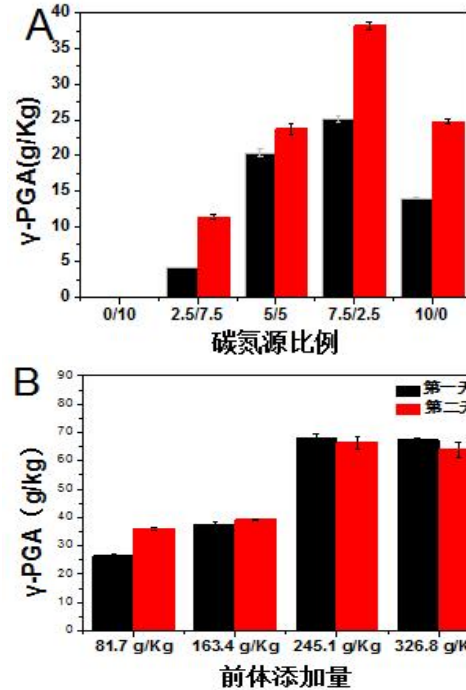
3.4 高温固体发酵生产 γ -PGA



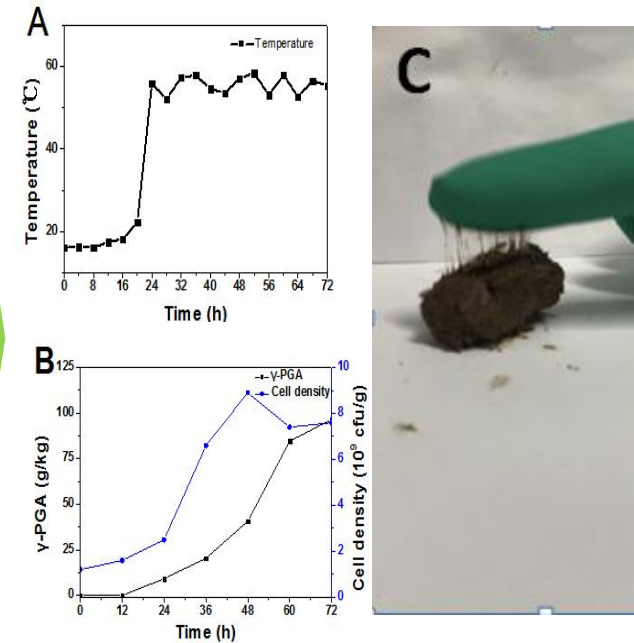
菌株高温驯化：A1原始菌株；A2耐热菌株；B γ -PGA分子量变化；C耐高温性能



A稻草预处理；B γ -PGA高温固体发酵反应器结构示意图



γ -PGA高温固体发酵培养基优化：A碳氮源比例；B前体添加量



γ -PGA高温固体发酵：A温度；B γ -PGA和菌体产量；C表观性状

- **梯度升温驯化获得耐热 γ -PGA合成菌株**：可耐受55°C、较原始菌株产量略降，菌落形态明显变小，分子量 (Mw) 降低由670万Da降至225万Da。
- **中试高温固体发酵装置**：模拟气流膜堆肥工艺，箱体外部包有保温层、底部铺设通风管路；通过反馈控制器，以通风的方式控制发酵温度为55°C。
- **非灭菌静置高温固体发酵**：温度可维持在52-58°C附近；72小时，发酵物料变黏、拉丝， γ -PGA产量为96.5 g/kg，菌体密度 7.6×10^9 cfu/g。

秸秆廉价制备 γ -聚谷氨酸

3.4 固体发酵生产 γ -PGA - 产物肥料增效验证

γ -PGA发酵产品对马铃薯栽培具有明显增产、节肥效果:

- 具有显著的化肥增效作用，能够促进马铃薯增产23.52%；同时具有明显的减肥功效，可节约40%的化肥投入。



聚谷氨酸生物菌肥的马铃薯田间试验
(中国科学院成都平原农业生态试验站,2021)

表 聚谷氨酸微生物菌剂田间试验马铃薯产量结果

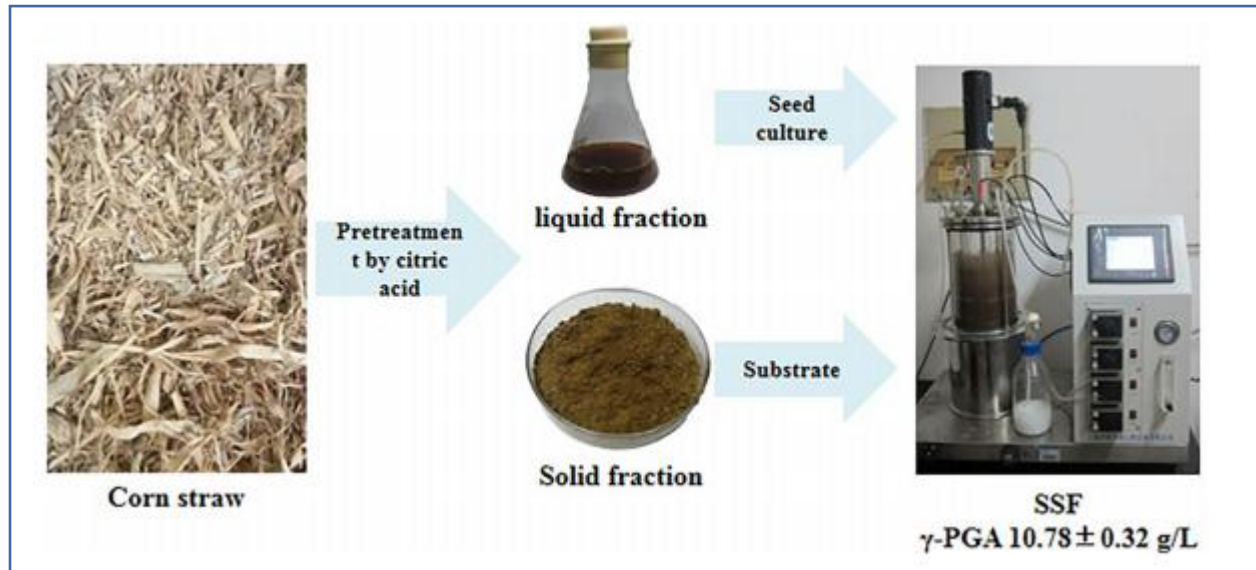
组别	处理	平均产量 (Kg/130m ²)	较CK增产 (%)	差异显著性 (P值)
CK	常规施肥组	283.87±29.15	-	-
a	常规施肥+聚谷氨酸菌剂组	350.63±11.47	23.52	0.039*
b	减肥40%+聚谷氨酸菌剂组	328.10±13.21	15.58	0.122

*数据进行单因素方差分析，与对照组（CK）相比达到差异显著

秸秆廉价制备 γ -聚谷氨酸

3.5 同步糖化发酵生产 γ -PGA - 技术流程

- 同步糖化发酵 (simultaneous saccharification and fermentation, SSF) 是指将纤维素水解和微生物发酵整合到同一个反应器中, 纤维素被纤维素酶水解成葡萄糖, 同时立即被微生物利用发酵转化成产品的过程。

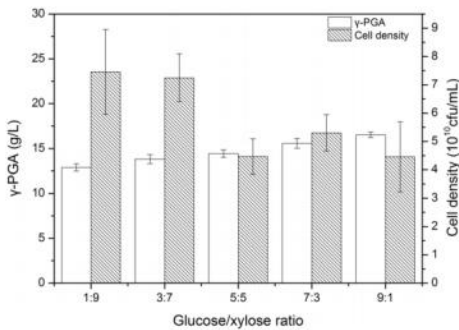
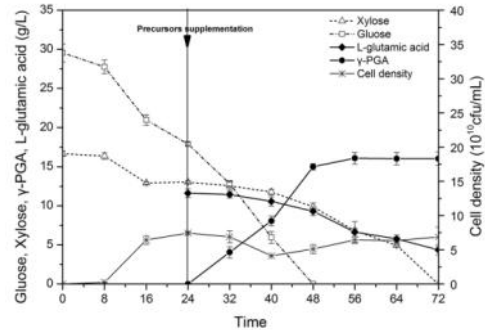


同步糖化发酵技术流程示意图

- 秸秆预处理:** 玉米秸秆粉碎后, 使用柠檬酸溶液高热条件下预处理, 固液分离备用;
- 种子培养:** 预处理的液体用作碳源, 接种发酵菌株, 进行种子培养;
- 同步糖化发酵:** 预处理的固体部分直接作为底物, 加入氮源、前体、纤维素酶, 接入种子培养物, 在液体发酵罐中进行同步糖化发酵, 生产 γ -PGA。

秸秆廉价制备 γ -聚谷氨酸

3.5 同步糖化发酵生产 γ -PGA - 工艺建立



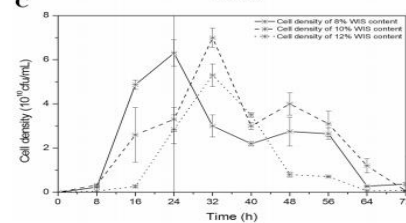
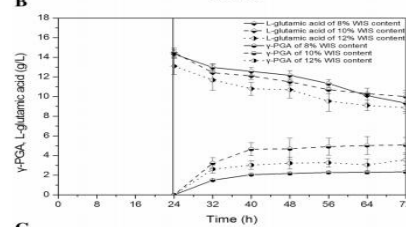
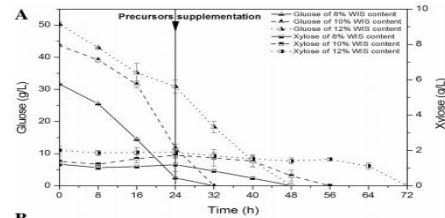
葡萄糖/木糖模拟玉米秸秆发酵



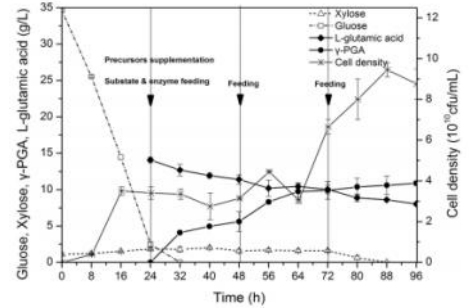
Table 2 Components of corn straw after pretreatment with citric acid

Component	% Total dry weight (w/w)	
	Corn straw	Pretreated straw (Solid fraction)
Cellulose	36.77 ± 1.00	52.45 ± 2.23
Hemicellulose	19.52 ± 1.56	5.84 ± 0.78
Lignin	15.60 ± 1.42	23.32 ± 1.64

玉米秸秆柠檬酸预处理



批次-同步糖化发酵



批次-补料同步糖化发酵

- 柠檬酸预处理玉米秸秆, 与强酸、强碱相比产生更少抑制物质, 可不经脱毒直接进行发酵, **减少废水、废渣产生**;
- 预处理液体部分富含木糖, 利于菌体生长, 用于种子培养; 固体部分富含葡聚糖, 利于 γ -PGA合成, 用于发酵底物; **实现全组分利用**;
- 以玉米秸秆为主要原料, 建立了 γ -PGA的同步糖化发酵(SSF)工艺, γ -PGA产量达10.78g/L。

秸秆廉价制备 γ -聚谷氨酸

3.5

同步糖化发酵生产 γ -PGA - 产品肥料增效应用



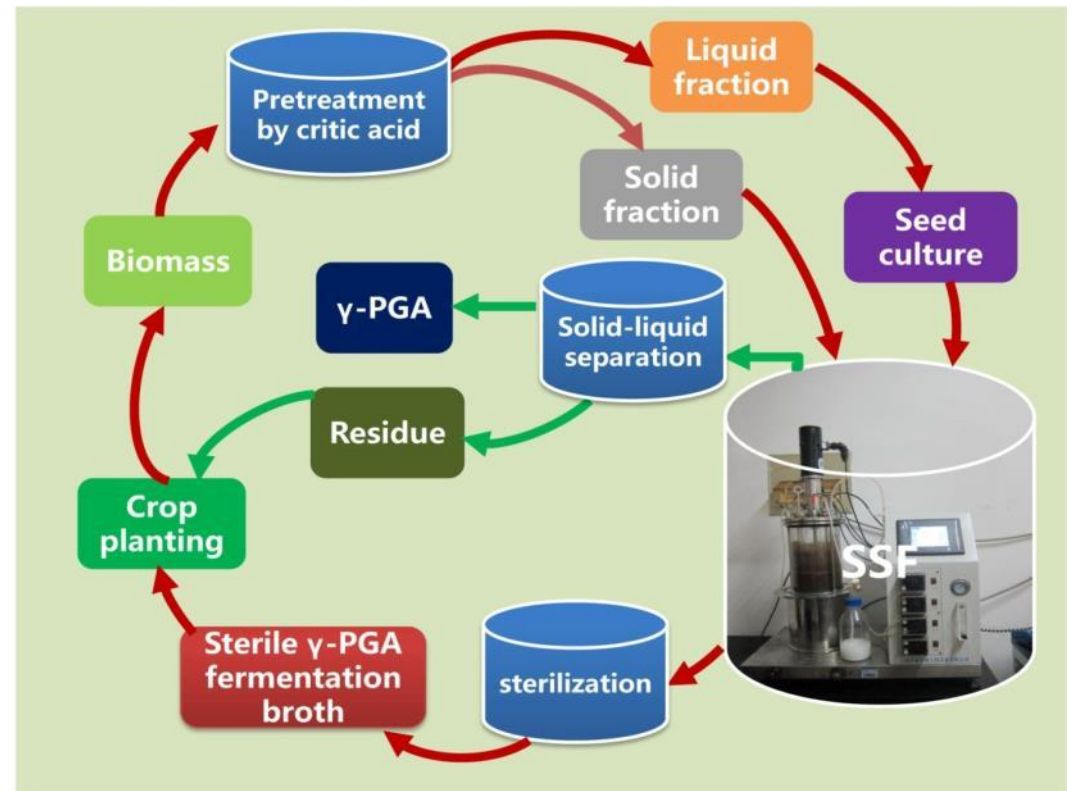
B	Yield (g per pot)	Length of peppers (cm)	Water content (%)	First flowering date	First harvesting date	Final harvesting date
γ -PGA	65.31 \pm 0.31 ^a	14.8 \pm 0.61	83.75 \pm 0.59	July 8	July 17	September 20
Control	57.56 \pm 0.57	14.0 \pm 0.67	82.60 \pm 1.01	July 8	July 19	September 11

Data were the averages of four replicates

^a There was significant difference compared with control group ($P < 0.05$)

同步糖化发酵液肥料增效辣椒盆栽实验: A盆栽实验, B结果统计

同步糖化发酵液不经提纯, 直接用于辣椒盆栽实验, 与对照相比, 产量提高了13.46% ($P < 0.05$), 具有明显肥料增效作用。



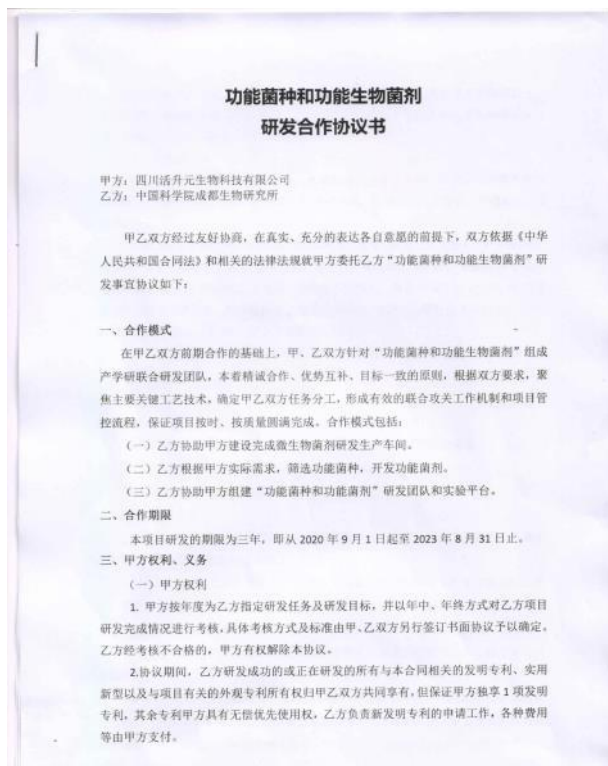
同步糖化发酵 γ -PGA为基础的秸秆生物炼制路线

γ -PGA的同步糖化发酵工艺以玉米秸秆为原料生产高值的肥料增效剂, 为木质纤维素生物炼制和农业可持续种植提供了一种简单而绿色的新思路。

秸秆廉价制备 γ -聚谷氨酸

3.6 应用成果转化

在秸秆廉价制备 γ -聚谷氨酸技术基础上，与四川活升元生物科技有限公司达成合作研发协议，开发聚谷氨酸生物功能肥研发。



菌剂发酵车间



生产车间



产品展示区



领导关心



04相关成果与研究团队

- γ -聚谷氨酸相关成果
- 研究团队

γ-PGA相关成果：专利、标准、基地



液态γ-PGA微生物肥料



固态γ-PGA微生物肥料

- γ-PGA微生物肥料相关专利**授权6项**，发表论文8篇，其中TOP论文5篇；
- 初步研制γ-PGA微生物肥料相关产品2种（液态1种&固态1种）联合企业制定标准2项，团标2项；
- 建立示范基地15余处。

证书号第 3385756 号

发明

发明名称：γ-PGA

发明人：白志英

专利号：ZL 2017 1 016 116 1.0

专利申请人：中国科学院成都生物研究所

专利权利人：中国科学院成都生物研究所

局长 申长雨

证书号第 3806099 号

发明

发明名称：一种增加γ-PGA

发明人：白志英、魏海

专利号：ZL 2017 1 016 116 1.0

专利申请人：中国科学院成都生物研究所

专利权利人：中国科学院成都生物研究所

局长 申长雨

证书号第 3731738 号

发明

发明名称：高产γ-PGA

发明人：白志英、魏海

专利号：ZL 2017 1 016 116 1.0

专利申请人：中国科学院成都生物研究所

专利权利人：中国科学院成都生物研究所

局长 申长雨

证书号第 3823700 号

发明

发明名称：一种利用γ-PGA

发明人：白志英、魏海

专利号：ZL 2017 1 016 116 1.0

专利申请人：中国科学院成都生物研究所

专利权利人：中国科学院成都生物研究所

局长 申长雨

证书号第 5112044 号

发明专利证书

发明名称：一株高产γ-PGA的枯草芽孢杆菌及其应用

发明人：白志英、李海红、赵殿琪、许力山、魏高升、刘杨

专利号：ZL 2019 1 1840017.6

专利申请人：2019年11月20日

专利权利人：中国科学院成都生物研究所

局长 申长雨

中国微生物菌种保藏管理委员会普通微生物中心

China General Micro-Organism Culture Collection Center (CGMCC)

鉴定编号：CGMCC 115563.1

菌株名称：γ-PGA

中国微生物菌种保藏管理委员会普通微生物中心

China General Micro-Organism Culture Collection Center (CGMCC)

鉴定编号：CGMCC 115525.1

菌株名称：γ-PGA



γ-PGA相关成果：菌种库

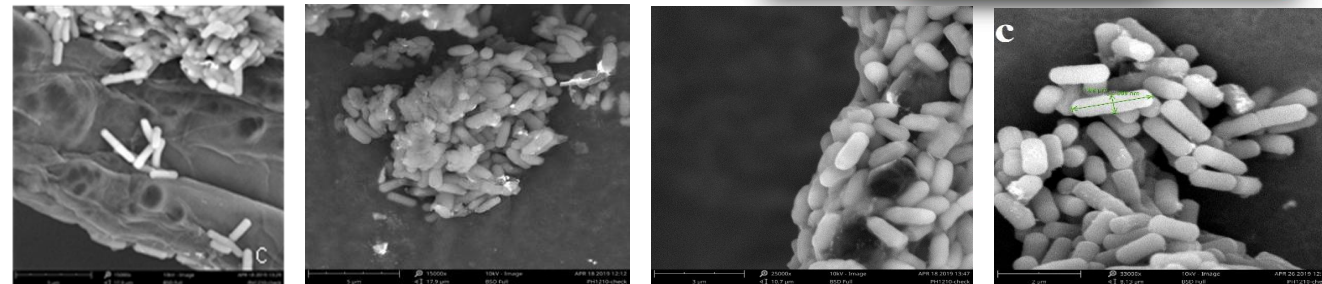
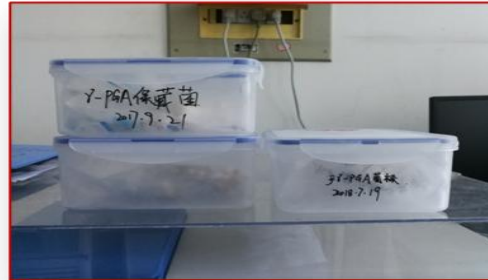


表 γ-PGA合成菌株类型

性质	参数范围
选育来源	自然选择、诱变、改造、驯化等
γ-PGA产量	30-60 g/L
分子量	20-25,000 kDa
温度	30-55°C
底物	葡萄糖、甘油、木糖、糖蜜、秸秆、豆粕、味精粕

建有γ-PGA菌种资源库，保藏有合成菌株**100余株**，类型齐全，满足各种不同的应用领域。

研发团队

团队长期从事微生物发酵、有机固废生物转化、生物菌肥开发等领域的研究。

闫志英 研究员：

主持了20多项国家、省部级科研课题；
发表论文50多篇，获得发明专利15件；
获得国家科技进步二等奖1项，省部级科研奖励4项。



团队固定骨干成员**平均年龄33岁**，具备环境科学、微生物学、生物工程等学科背景，研究任务互相分工，交叉研究。并加强与地方研究单位合作。

该研究获得**四川省青年科技创新研究团队**（绿色肥料增效剂生物发酵制备及应用）、中科院西部青年学者（聚谷氨酸（ γ -PGA）功能生物肥研发）、中科院先导专项（黑土地保护与利用科技创新工程）等项目支持。

科技成果评价

科学技术成果评价报告

川技协（评价）字[2022]第 050 号

成果名称： γ -聚谷氨酸高效生物合成及其在肥料增效中的产业化应用

成果类型：技术开发类应用研究成果

完成单位：中国科学院成都生物研究所

四川百川金开生物工程有限公司

四川美丰化工股份有限公司

四川省技术市场协会（盖章）



评价结论

2022年5月7日，四川省技术市场协会组织同行专家，在成都对中国科学院成都生物研究所、四川百川金开生物工程有限公司、四川美丰化工股份有限公司共同完成的“ γ -聚谷氨酸（ γ -PGA）高效生物合成及其在肥料增效中的产业化应用”进行了成果评价。专家组审阅了相关材料，听取了完成单位汇报，经质询和讨论，形成如下评价意见：

1.提供的成果资料完整，符合成果评价要求。

2.该成果针对我国绿色肥料增效剂生产效率低、价格昂贵、农业应用规模小、国外专属菌种垄断等问题，开展了“ γ -PGA 高效合成菌种创制与发酵体系构建”、“ γ -PGA 高效工业化生产技术”和“ γ -PGA 与肥料稳定耦合关键技术”三方面攻关。该成果的创新点在于：

利用重离子诱变及合成生物学技术创制 γ -PGA 合成菌株 10 株，选育出自主知识产权的高效菌株 4 株， γ -PGA 产量高达 50 g/L，比现有水平提高 40%，其分子量达到超高水平（ 2.5×10^7 Da），为国际同类产品的 2.5 倍，打破国外专属菌种垄断。

首创了以玉米秸秆为主要原料的 γ -PGA 同步糖化液态发酵技术和固体稳态发酵技术，构建了利用废弃生物质制备 γ -PGA 的发酵技术体系，实现低成本、零排放。

创建了基于代谢通量分布和实时供氧调控的 γ -PGA 发酵过程调控技术，建立了 γ -PGA 的多级超滤纯化技术和长效保存技术，优化了 γ -PGA 与肥料稳定耦合技术、 γ -PGA 与化肥混合造粒技术，形成了 γ -PGA 高效工业化生产技术体系。开发了 γ -PGA 尿素与 γ -PGA 复合肥 2 种新型肥料产品，建成年产 2 万吨 γ -PGA 生产线 3 条，年产 10 万吨 γ -PGA 新型肥料生产线 1 条。

该成果已获授权专利 15 件，其中发明专利 10 件，实用新型专利 5 件，发表论文 28 篇，制定企业标准 3 项。2019-2021 年， γ -PGA 新型肥料销售收入超 4 亿元，推广 300 余万亩，作物增产 10%以上，减少化肥施用量，促进了农民增收，从源头上削减了农业面源污染，有力地推动了四川乃至全国农业的绿色可持续发展，具有广阔的推广应用前景。

综上所述，专家组一致认为：该成果整体技术达到了国际先进水平，其中 γ -PGA 同步糖化液态发酵技术和固体稳态发酵技术达到国际领先水平。

评价专家组组长签字：[Signature]

评价专家组副组长签字：[Signature]

2022年5月7日

专家组一致认为“该成果整体技术达到了国际先进水平，其中 γ -PGA 同步糖化液态发酵技术和固体稳态发酵技术达到国际领先水平”。

作为牵头单位联合四川百川金开生物工程有限公司、四川美丰化工股份有限公司申报四川省科学技术进步奖。

谢谢

