

# 农产品加工废弃物开发生物菌肥研究进展

赵新河<sup>1+</sup>, 贺壮壮<sup>1+</sup>, 李宏军<sup>1, 3</sup>, 赵玉斌<sup>2</sup>, 马成业<sup>1, 3\*</sup>

(1. 山东理工大学农业工程与食品科学学院, 山东 淄博 255000;

2. 鲁洲生物科技有限公司, 山东 临沂 276400; 3. 山东省高校农产品功能化技术重点实验室, 山东 淄博 255000)

**摘要:** 农产品加工废弃物因其处理成本高、环境污染大, 给企业和社会造成了较大压力和困难。将农产品加工废弃物发酵成生物菌肥, 可以有效分解农产品废弃物中的可降解成分, 最终起到固氮促生、解磷解钾、生物防治等功能。本文综述了近年来农产品加工废弃物生产生物菌肥研究情况, 介绍了不同农产品废弃物作为载体底物以及不同菌种性能等研究, 通过分析利用农产品加工废弃物生产生物菌肥的不足及趋势, 为进一步开发农产品加工废弃物为基料的生物菌肥技术提供借鉴和参考。同时, 提出利用玉米淀粉加工废弃物—玉米浆为基料开发高蛋白生物菌肥, 并初步分析了玉米浆中的营养成分及毒素含量, 为下一步开发生物菌肥提供了研究基础。

**关键词:** 农产品加工废弃物; 生物菌肥; 发酵技术; 玉米浆

随着农产品加工产业的不断发展, 在带来农业效益的同时, 也产生了大量的废弃物, 给企业带来严重负担, 同时也带来了大量的社会和环境问题<sup>[1]</sup>。比如, 一些企业选择将农业加工废弃物丢弃或者直接用作肥料使用, 这给生态环境带来了巨大的压力, 处理不当又会给农田土壤带来污染<sup>[2]</sup>。2018年《中共中央国务院关于实施乡村振兴战略的意见》中提出“要推进有机肥替代化肥, 病虫害绿色防控, 实现废弃物资源化”, 其中直接提出了农业废弃物的资源化利用。随着生物技术的发展, 越来越多的农产品废弃物得到了合理利用, 其中包括生物质能源开发, 二次提取(油脂、蛋白、膳食纤维等次级产物)以及生物肥料开发<sup>[3]</sup>。然而, 在现有农产品废弃物资源化利用的过程中, 因其技术限制, 可利用率低, 成本过高, 产生二次污染, 难以大规模消化等问题极大地限制了农产品废弃物的再利用<sup>[4]</sup>。同时, 生物菌肥因为其应用广泛性、生产成本廉价性、生态环境友好等优势, 为解决农产

品加工废弃物提供了一条新的思路。

生物菌肥是用特定功能微生物在适合的载体上经过发酵而成, 含有大量的有益微生物以及其他活性物质, 能够促进植物生长的一类生物有机肥料<sup>[5]</sup>。随着大量化学肥料的使用, 导致全球范围内大量水源、土壤、空气污染严重, 以及作物生产成本上涨。生物菌肥的开发可以减少化学肥料的使用, 缓解化肥造成的污染, 改善土壤基质, 促进植物的生长<sup>[6]</sup>。现阶段生产生物菌肥的底物呈现多样性发展, 主要集中在农作物残留物, 畜禽粪便, 城市垃圾, 工业废弃物以及农产品加工废弃物等方面。但是, 利用农产品加工废弃物生产菌肥具有更好的优势:(1)天然的来源, 农产品加工废弃物作为基料发酵生物菌肥不易造成土壤污染。(2)底物营养丰富, 含有丰富的蛋白质、有机质以及氮磷钾等元素。(3)毒性低, 较容易被微生物利用, 且对植物无毒害作用。(4)增加农业产值, 废弃物成本较低, 能够增加农产品深加工的附加值。针对近年来国内外利用农产品废弃物生产生物菌肥研究情况, 本文对载体底物、发酵菌种及应用效果进行了综述, 并以玉米淀粉加工废弃物——玉米浆为重点, 分析了其作为底物开发菌肥的可能性, 期望为更好的实现可持续发展的生态农业提供一条有效解决途径。

## 1 农产品废弃物作为菌肥载体底物的研究

农产品加工废弃物主要包括果蔬残渣(如葡萄

收稿日期: 2019-01-22; 录用日期: 2019-03-02

基金项目: 山东省重点研发计划项目(2019GNC106076); 山东省博士后创新项目(20190218)。

作者简介: 赵新河(1983-), 男, 山东淄博人, 讲师, 博士, 研究方向为发酵工程; E-mail: zhaoxinhe@sdu.edu.cn。贺壮壮(1996-), 男, 山东滕州人, 硕士研究生, 研究方向为农产品高值化加工; E-mail: 1938376579@qq.com。赵新河、贺壮壮为共同第一作者。

通讯作者: 马成业, E-mail: meycn2002@163.com。

皮、苹果渣等), 淀粉生产废弃物(如甘薯渣、玉米浆等), 制糖废弃物(如甜菜渣、甘蔗渣等), 粮油加工废弃物(如麦麸、菜籽饼粕等), 酿造废渣(如酒糟、酱渣等)以及餐厨垃圾、畜禽加工的下脚料等<sup>[3]</sup>。这些农产品加工废弃物不仅含有丰富的有机质以及营养元素, 而且无毒、易吸附灭菌、保水能力强, 便于微生物生长<sup>[7]</sup>。因此, 农产品加工废弃物经过预处理可被充分利用发酵生物菌肥。国内外的学者对此进行了大量的研究, 并取得了一些显著效果。

Xu 等<sup>[8]</sup>以甘薯淀粉生产废弃物为发酵底物生产生物菌肥, 菌肥最大生物量达到  $9.7 \times 10^9$  CFU/mL, 并通过喷施应用于茶树, 茶叶产量提高了 16.7%。赵悦宛<sup>[9]</sup>以苹果渣作为原料, 发酵生产黄腐酸生物菌肥, 黄腐酸含量达到了 20%。卢占军等<sup>[10]</sup>利用固态发酵柑橘皮渣为主要原料生产菌肥, 有效活菌数达  $1.85 \times 10^8$  CFU/g, 优于国家标准。Ogbo<sup>[11]</sup>利用木薯皮(木薯加工废弃物)作为发酵载体底物, 由 1% 的原木薯淀粉和 3% 的家禽粪便作为底物开发了一种磷酸盐微生物菌肥, 显著促进了树豆植株生长, 比对照组提高了 125%。Namfon 等<sup>[12]</sup>以生产谷氨酸钠的废弃物为发酵底物, 通过混合液体培养生产液体生物菌肥, 其中营养细胞和孢子浓度分别达到了  $8.29 \times 10^9$  和  $1.97 \times 10^5$  CFU/mL。Zhu 等<sup>[13]</sup>利用废蘑菇基质生产生物菌肥, 菌肥底物是由 1.5 g 玉米粉和 28.5 g 磨干废蘑菇基质

组成, 制备的生物菌肥菌体密度达到  $5.6 \times 10^8$  CFU/g, 并且显著促进了大豆植株的生长。曾振基等<sup>[14]</sup>利用食用菌菌渣生产生物菌肥, 达到国家要求标准并应用于金柚等作物, 增产效果达到 11.78%。肖伟<sup>[15]</sup>利用海带渣(海带加工废弃物)发酵生产多功能微生物肥料, 其中有效活菌数达到了  $7.7 \times 10^{10}$  CFU/g, 充分挖掘了海带渣的再利用价值。王分分<sup>[16]</sup>利用木薯酒精废水发酵生产微生物菌肥, 有效活菌数达到了  $1.34 \times 10^9$  CFU/mL, 经过对番茄盆栽试验, 番茄的地上鲜重和干重分别提高了 60.5% 和 54.1%, 验证菌肥的效果良好。经过学者们多年的研究探索, 证实了利用农产品加工废弃物生产生物菌肥的可行性及潜能。

农产品加工废弃物作为菌肥载体底物, 有着其天然优势, 但是菌肥生产过程中, 很难为功能菌种寻求合适的载体材料, 导致载体分解利用程度低, 菌肥活菌数低。同时要充分考虑载体的物理化学特性对发酵菌种的影响如载体材料的盐度、酸度等都会影响菌种的发酵。另外, 菌肥生产时没有考虑载体的腐熟度, 施用到土壤中很容易对土壤造成污染, 影响植物生长。以农产品加工废弃物作为生物菌肥载体材料, 会因为农产品生长和加工的季节性, 导致菌肥生产与菌肥施用之间的矛盾。这就要求菌肥的货架期要足够长, 但很少有学者对延长菌肥货架期研究。表 1 列举了部分生产生物菌肥使用的农产品废弃物的成分与特性。

表 1 部分发酵生物菌肥主要农产品废弃物的成分与特性

| 农产品废弃物 | 有机质 (%)     | 总氮 (%)    | 总钾 (%)    | 总磷 (%)    | pH        | 含水量 (%) | 其他               | 参考文献                  |
|--------|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|---------|------------------|-----------------------|
| 废蘑菇基质  | 59.6        | 1.2       | 1.56      | 0.75      | 7.0       | 70.2    | —                | Zhu 等 <sup>[13]</sup> |
| 糖厂滤泥   | 30.3 ~ 67.2 | 0.9 ~ 1.3 | 0.4 ~ 0.7 | 0.6 ~ 1.4 | 4.6 ~ 6.3 | —       | 多糖 0.35% ~ 1.21% | 谭宏伟 <sup>[19]</sup>   |
| 甘薯淀粉废水 | 1.91        | 0.194     | 0.076     | 0.007     | 6.3       | —       | —                | Xu 等 <sup>[8]</sup>   |
| 木薯酒精废水 | 1.95        | —         | —         | —         | 4.2 ± 0.5 | —       | EC 值 3.53 mS/cm  | 王分分 <sup>[16]</sup>   |
| 糠醛渣    | 47          | 1         | 0.2       | 2.3       | 4.5       | 40      | —                | 刘德飞 <sup>[25]</sup>   |
| 废糖液    | 71          | 0.9       | —         | —         | 4.3       | 50      | —                | 刘德飞 <sup>[25]</sup>   |
| 食用菌菌糠  | 85.2        | 1.76      | 0.16      | 1.02      | —         | 38.24   | —                | 曾振基等 <sup>[14]</sup>  |
| 麦麸     | 82          | 1.9       | —         | 0.3       | —         | 10      | —                | 刘德飞 <sup>[25]</sup>   |

## 2 农产品废弃物发酵菌肥关键技术研究

### 2.1 不同菌种性能的研究

菌种性能是发酵生物菌肥的关键。目前利用农产品废弃物生产生物菌肥的菌种主要有细菌如芽孢

杆菌、固氮菌等, 真菌如黑曲霉、烟曲霉、酵母菌等, 以及部分放线菌<sup>[17]</sup>。菌种研究主要集中在: (1) 菌种的筛选, 从植株土壤或载体中分离出目标菌种。(2) 从单一菌种向多菌种混合发酵过渡, 筛选出没有拮抗作用且能相互促进的菌种。(3) 共生

发酵, 选用多种具有固氮、解钾、解磷等作用的功能微生物共生发酵生产菌肥。对此学者们做了大量的研究。

根据底物成分特性, 选择合适的发酵菌株, 将载体分解使菌肥肥效达到最大化是菌肥研究的主要目的。芽孢杆菌具有降解脂肪、蛋白质和淀粉的能力, 同时可以耐受不良环境, 是生物菌肥的常用菌种<sup>[18]</sup>。Namfon 等<sup>[12]</sup>以土壤微生物芽孢杆菌、微球菌、假单胞菌、葡萄球菌等为发酵菌种, 利用味精生产废液生产液体菌肥, 其中营养细胞浓度达到了  $8.29 \times 10^9$  CFU/mL。Xu 等<sup>[8]</sup>从小麦叶片中分离出多粘类芽孢杆菌, 利用该菌种发酵甘薯废弃物生产的生物菌肥在小麦生长过程中达到促生、抗病的良好效果。谭宏伟<sup>[19]</sup>通过利用枯草芽孢杆菌、巨大芽孢杆菌和胶冻样芽孢杆菌将糖厂滤泥发酵制成生物有机肥, 其中菌肥中细菌蛋白酶活性达到  $1.79 \times 10^6$  U/g, 有机物质转化成有机酸转化率较自然发酵提高 30.2%, 将生物菌肥应用于水稻, 平均水稻产量较自然发酵增加 7.83%。Tsai 等<sup>[20]</sup>在食品垃圾堆肥中分离出嗜热解脂短芽孢杆菌 SH168 并接种在食品废弃物中发酵 28 d, 粗脂肪从 4.88% 下降到 1.34%, 灰分从 24.94% 上升到 29.21%, C/N 从 18.02 下降到 17.65, 孢子数最高达到  $1.82 \times 10^9$  CFU/g, 开发出了一种既能分解食品废弃物又能增加菌肥中总氮含量的新型菌肥。

真菌如曲霉菌、木霉、酵母菌等能够分解纤维素和半纤维素, 在发酵高含量纤维素废弃物生产菌肥的应用较多<sup>[21]</sup>。如 Zhu 等<sup>[13]</sup>从农业废弃物堆肥中分离出在环境胁迫下耐压性强的磷酸盐溶解微生物毕赤酵母 FL7, 并将其应用于废蘑菇基质生产生物菌肥, 菌肥中检测出菌体密度增加到  $5.6 \times 10^8$  CFU/g, 可检测出有效磷 13 mg/L, pH 值下降到

4.0, 通过高效液相色谱分析, 产生了多种有机酸包括草酸、苹果酸、琥珀酸、乙酸等。Wang 等<sup>[7]</sup>筛选出黑曲霉 1107, 并鉴定为一种高效的磷酸盐增溶菌。将该菌株在泥炭、玉米芯、20% 珍珠岩载体中培养 10 d 后, 培养基中产生 689 mg/L 可溶性磷。在保存 7 个月后, 菌肥中仍含有孢子  $3.2 \times 10^7$  CFU/g, 货架期较长。戴乐天<sup>[22]</sup>将玉米根际土中筛选得到草酸青霉和黑曲霉分别接种到玉米芯、麦麸等农业废弃物中固体发酵生产磷酸盐生物菌肥, 菌肥中孢子数分别达到了  $3.21 \times 10^8$  和  $5.6 \times 10^8$  CFU/g, 两种菌在 PVK 培养基中培养测得可溶性磷含量分别为 13.2 和 1.3 mg/L, 纤维素降解酶活分别达到 0.118 和 0.109 U/L。同时发现两株真菌均可以产草酸、甲酸和柠檬酸等有机酸。

许多研究中选用的菌种单一, 很难将载体分解与菌肥肥效最大化。因此, 单一菌种生产菌肥很难满足菌肥的功能多样性要求, 多种功能菌混合发酵已经成为目前菌种发酵研究热点<sup>[23]</sup>。赵悦宛<sup>[9]</sup>通过黑曲霉、枯草芽孢杆菌、假单孢杆菌、酿酒酵母、产阮假丝酵母多种微生物的混合代谢作用发酵苹果渣制备出高效生化黄腐酸菌肥, 应用效果明显。Chang 等<sup>[24]</sup>从粪便堆肥中分离出凝血芽孢杆菌 C45、地衣芽孢杆菌 A3、史氏芽孢杆菌 F18、嗜热链霉菌 J57 和烟曲霉 O4 多种功能微生物, 发酵鸡肉废料和中草药残渣等农产品废弃物制备多功能生物菌肥, 与未接种微生物的肥料相比, 接种微生物的生物肥料具有较高的总氮、可溶性磷含量和发芽率, 添加这些微生物可以缩短生物肥料的成熟期, 提高产品质量, 提高可溶性磷含量, 提高磷酸盐增溶菌和蛋白水解菌的种群数量。表 2 列举了部分农产品废弃物生产生物菌肥的关键菌种及部分技术指标。

表 2 部分农产品废弃物生产生物菌肥的关键菌种

| 主要发酵底物   | 菌种                     | 菌肥有效活菌数 (CFU/g)       | 参考文献                     |
|----------|------------------------|-----------------------|--------------------------|
| 废蘑菇基质    | 毕赤酵母 FL7               | $5.6 \times 10^8$     | Zhu 等 <sup>[13]</sup>    |
| 味精生产废液   | 芽孢杆菌、微球菌、假单胞菌、葡萄球菌     | $8.29 \times 10^9$    | Namfon 等 <sup>[12]</sup> |
| 食品废弃物    | 嗜热解脂短芽孢杆菌 SH168        | $1.82 \times 10^9$    | Tsai 等 <sup>[20]</sup>   |
| 甘薯淀粉     | 多粘类芽孢杆菌 EBL-06         | $9.7 \times 10^9$     | Xu 等 <sup>[8]</sup>      |
| 糖醛渣废糖液麦麸 | 芽孢杆菌 L7                | $3.26 \times 10^{10}$ | 刘德飞 <sup>[25]</sup>      |
| 木薯皮      | 黑曲霉 / 烟曲霉              | —                     | Ogbo <sup>[11]</sup>     |
| 糖厂滤泥     | 枯草芽孢、巨大芽孢、胶冻样芽孢杆菌      | —                     | 谭宏伟 <sup>[19]</sup>      |
| 柑橘皮渣     | 绿色木霉, 枯草芽孢、地衣芽孢、侧芽孢杆菌等 | $1.85 \times 10^8$    | 卢占军等 <sup>[10]</sup>     |



## 2.2 发酵工艺研究

生物菌肥的质量不仅取决于优良的发酵菌种,还取决于发酵工艺的优化。主要手段包括根据载体与菌种特性,选择发酵菌肥的方法(主要是固态发酵、液态发酵、半固态发酵),优化发酵培养基组分和发酵条件。影响菌肥发酵的因素主要有混合菌种的比例、接种量、装液量、初始 pH 值以及发酵温度等。很多学者在提高菌肥质量、缩短发酵时间、降低发酵成本方面进行了大量研究,并且成果显著。

对于菌肥发酵工艺的优化,不同学者研究的侧重点有所不同。有效活菌数是衡量菌肥质量和货架期的关键指标。因此大部分学者以菌肥中活菌数为优化指标,确定最优发酵参数。Xu 等<sup>[8]</sup>为提高甘薯淀粉废弃物发酵菌肥中最大生物量,确定最佳培养条件是 pH 值为 6.5,温度  $29.0^{\circ}\text{C} \pm 6^{\circ}\text{C}$ ,孵化时间 16 h,转速 250 r/min。在这些条件下,实现了  $9.7 \times 10^9$  CFU/mL 的最大生物量。孙丽范<sup>[26]</sup>为提高以菌糠为载体发酵微生物菌肥中总生物量,运用 Plackett-Burman 试验与响应面分析相结合方法优化出当含水量为 74.8%,转速为 231 r/min 时,总生物量可达到最大,为  $48.87 \times 10^8$  CFU/g。刘德飞<sup>[25]</sup>为提高以糖醛渣为主要底物生产的菌肥中活菌数,通过单因素和正交试验确定了最优发酵条件:糠醛渣 85%,废糖液 10%,麦麸 5%,物料初始水分 60%,温度  $30^{\circ}\text{C}$ ,pH 值 7,接种量  $5 \times 10^6$  CFU/g,翻堆频率 1 次/d,优化后最终活菌数达到了  $2.48 \times 10^{10}$  CFU/g。

有些学者以菌肥中营养成分提升为研究重点,对发酵工艺进行优化和改进。如宋敏等<sup>[27]</sup>为提高下脚料生产菌肥发酵液中游离氨基酸态氮含量,通过液态发酵优化工艺为转速 203 r/min、接种量 5%、温度  $30^{\circ}\text{C}$ ,最终发酵液中游离氨基酸态氮含量达到 13.891 g/L,较优化前提高了 12.34%。刘雪莲<sup>[28]</sup>以葡萄皮渣菌肥中腐植酸的含量为主要指标,通过单因素试验优化发酵工艺,在水料比为 2.5:1、培养基 pH 值 4.5、尿素含量为 2.0% 时,腐植酸含量较高,肥效最好。赵悦宛<sup>[9]</sup>为提高苹果渣生产生物肥料中黄腐酸含量,将苹果渣进行半固态发酵,通过正交试验得出接种量 7%,含水量 50%,添加尿素量 2%,发酵时间 30 d 为最适发酵条件,菌肥中黄腐酸含量达到 24.6%。也有些学者为了提高菌肥生物防治性能,以病原菌抑制率为优化指标,优化发酵工艺。如肖伟<sup>[15]</sup>为了提高海带渣菌

肥对寄生曲霉的生长抑制率,利用响应面优化确定了最优发酵条件为 37.402% 海带渣、2.091% 蔗糖、0.507% 硝酸钾、60% 水、4% 接种量,  $35^{\circ}\text{C}$  条件下发酵 8.24 d,抑制生长率最大达到 73.30%。

菌肥发酵是在试验条件下控制发酵,而生物菌肥在施入土壤后,会因季节性的温度、水分,土壤酸碱度、盐度以及其他有毒元素等影响功能菌种的生长<sup>[29]</sup>。另外,土壤中天然微生物群落是否会影响菌肥中的功能微生物生长也需作进一步研究。生物肥料在发酵过程中菌种会发生变异从而提高了生产和质量控制成本,迫切需要在这方面进行广泛的研究以减少对菌肥质量的影响<sup>[30]</sup>。同时,大量菌肥的研究都集中在菌肥发酵工艺优化,而较少有人对菌肥施加后的解磷、解钾、固氮作用机理进行深入研究。另外,混合菌种发酵时,也并没有对混合菌种发酵优于单一菌种发酵的作用机理进行深入探究,尤其是混合菌种间共生协同作用机制等。

## 3 农产品废弃物生物菌肥的应用效果

生物菌肥在作物生长过程中起到的促生、抗病等效果是评价菌肥质量的主要标准。因此利用农产品加工废弃物发酵生物菌肥,在降解农产品加工废弃物同时,其肥效也是大家集中研究的热点。生物菌肥在提高土壤肥力,促进植物生长,增强抗病能力,改良土质等方面起着非常重要的作用<sup>[31]</sup>。

### 3.1 固氮促生

生物菌肥中的固氮菌可以利用固氮酶将大气中的无机氮转化为植物可以利用的有机氮,增加菌肥中植物可利用氮元素含量<sup>[32]</sup>。另外,固氮菌一般能够分泌出生长素、赤霉素等植物激素,调节植物生长<sup>[12]</sup>。

吴正肖<sup>[33]</sup>将酒糟菌肥施用到大白菜土壤中,使得土壤中的固氮菌生物量提高了 72.4% 和 16.5%,同时全氮含量较无机肥和酒糟提高了 16.2% 和 6.6%,将酒糟菌肥与无机肥混合使用可有效提高大白菜产量。王永京等<sup>[34]</sup>对餐饮废水接种圆褐固氮菌生产液体菌肥,菌肥中氨氮最高浓度达到了 735.8 mg/L,证实固氮菌菌肥固氮效果良好。王分分<sup>[16]</sup>在青菜土壤中施用木薯酒精废水菌肥,结果显示菌肥能够显著提高青菜的鲜重,增产效果良好,并且显著降低了青菜中硝酸盐的含量,提高了维生素 C 含量,既保证了青菜品质,又促进了青

菜的生长。Xu 等<sup>[8]</sup>利用甘薯淀粉生产废弃物为发酵底物生产菌肥,通过叶面喷施茶树以确定生物肥料对茶树生长的影响。结果与对照相比,生物肥料的施用使茶叶产量平均提高 16.7%,茶多酚含量显著提高 10.4%,证实了甘薯淀粉生产废弃物菌肥对茶树生长的促进作用。柳艳艳等<sup>[35]</sup>将食用茵陈与巨大芽孢杆菌混合发酵制成菌肥,应用于油菜土壤中,土壤中全氮含量提高了 37.7%,油菜植株重量增加了 82.72%,表明茵陈生物菌肥能够明显增加土壤中全氮含量,促进植株生长。刘德飞<sup>[25]</sup>将益生芽孢杆菌 L7 发酵的糖醛渣生物菌肥应用到青油菜,相比对照油菜茎叶干重提高了 34.1%,显著提高了油菜的生长。

### 3.2 生物防治

目前,已有大量研究表明生物菌肥不仅可以促进植物生长,还可以在植物生长过程中起到生物防治的作用,一些有益微生物能够通过生长拮抗作用抑制病原菌生长或者通过分泌代谢产物杀死病原菌,提高植物的抗病能力。

肖伟<sup>[15]</sup>通过将生防芽孢杆菌海带渣菌肥施用到花生土壤中研究其抑菌性能,结果表明海带渣菌肥能够显著提高土壤酸碱度,并且能够抑制土壤中寄生曲霉的活性,抑制率提高了 37.67%,促进了花生植株的生长。该研究证实了海带渣菌肥在抑制病原菌,提高花生抗病能力的潜在价值。刘德飞<sup>[25]</sup>将糖醛渣等固态菌肥添加到油菜根际土壤中,通过测定菌肥对土壤中细菌和真菌群落的影响,显示出菌肥能够使土壤中真菌种类降低 47.8%,说明菌肥对土壤中病原性真菌具有明显抑制作用。Pangnakorn 等<sup>[36]</sup>对木醋添加发酵液体有机肥进行研究,发现木醋菌肥对昆虫的伤害有显著性差异。Zhang 等<sup>[37]</sup>利用枯草芽孢杆菌 N11 进行成熟堆肥研究,发现产品可以显著防治香蕉枯萎病。赵悦婉<sup>[9]</sup>通过在苹果渣黄腐酸菌肥中复配枯草芽孢杆菌 BS24 和 XM16 生产复合微生物菌肥,可有效抑制苹果 4 种主要病原菌。周巍等<sup>[38]</sup>通过在茵陈中接种绿色木霉发酵,将发酵物与土壤拌匀可有效抑制黄瓜立枯病和枯萎病,防治效果可达到 85.6% 和 74.3%。杨力凡<sup>[39]</sup>在玉米渣等农业废弃物中接种深绿木霉,将其应用于油菜,验证其对油菜致病菌的抑制能力,结果表明产品对油菜菌核病防治效率达到 76.29%,效果良好。

### 3.3 土壤改良

生物肥料通过固氮、对磷酸盐和钾矿盐的溶解、释放植物生长调节物质、生产抗生素以及降解土壤有机质等途径,使土壤环境中富含各种微、宏观营养物质,通过改良土壤有效提高土壤肥力<sup>[40]</sup>。

谭宏伟<sup>[19]</sup>在土壤中施用糖厂滤泥生物菌肥,土壤中有机质含量达到 15.75 g/kg,磷钾利用率比化肥提高了 4.5% 和 30.8%,证明了菌肥对于土壤的改良有显著效果。陈莎莎等<sup>[41]</sup>将玉米粉、麦麸等农业废弃物生产的菌肥应用到玉米盆栽中,菌肥中草酸青霉和黑曲霉能够影响玉米土壤中细菌的种类数量,并且与对照相比,菌肥处理的土壤中有有效磷含量提高了 4.36 和 5.03 倍,降低了土壤中 pH 值,增加了土壤中酶活,在土壤改良方面有显著效果。孙丽范<sup>[26]</sup>将毕赤酵母 FL7 应用于废蘑菇基质生产菌肥,试验效果表明土壤的有效磷含量均在 200 mg/L 以上,土壤中菌株 FL7 的生物量可以增加至  $2 \times 10^6$  CFU/g,经过菌肥处理后,土壤中有有效磷和有效钾的含量分别达到 359 和 1 200 mg/kg,总氮量比未经菌肥处理的对照组增加 100 mg/kg,结果表明它能在土壤中很好地生存并溶解不溶性磷,能有效提高在土壤中的可溶性磷含量。吴正肖<sup>[33]</sup>研究酒糟菌肥表明其能显著提高土壤中脲酶、蔗糖酶、过氧化氢酶以及磷酸酶活性,同时有效增加土壤中有机质、有效磷、速效钾含量。李世凤等<sup>[42]</sup>研究了糠醛渣生态肥对土壤理化性质的影响,结果表明施用生态肥的土壤孔隙度比化肥提高 13.35%,饱和持水量增加 13.35%,脲酶等土壤酶活显著增加,有机质含量增加 25.93%。

## 4 玉米浆开发生物菌肥潜力巨大

玉米加工行业是大宗农产品加工的主要阵地,所生产的淀粉、糖浆、玉米油、粗纤维等产品都是非常重要的食品和化工原料<sup>[43]</sup>。目前我国每年处理玉米原料约 5 000 万 t,其中生产玉米淀粉所产生的废弃物——玉米浆超过 200 万 t。但由于玉米浆存在颜色深、气味重、毒素、无机盐含量高等问题,严重限制了其应用,且长期的废弃物积累,严重污染环境,已经成为众多玉米加工企业发展的桎梏。然而,40% 以上的含氮物及 25% 以上的碳水化合物等营养成分使其在生物领域开发中蕴藏着巨大的潜力。表 3 中展示了企业提供玉米浆样品中

17 种主要氨基酸的含量，表明了玉米浆中含有丰富的氨基酸资源。

表 3 玉米浆干粉样品中 17 种主要氨基酸的含量  
(mg/g)

| 名称           | 含量     |
|--------------|--------|
| 氨基酸总量        | 298.71 |
| 天冬氨酸 (Asp)   | 22.15  |
| 谷氨酸 (Glu)    | 21.59  |
| 丝氨酸 (Ser)    | 5.15   |
| 组氨酸 (ms)     | 10.34  |
| 甘氨酸 (Gly)    | 4.15   |
| 苏氨酸 (Thr)    | 6.09   |
| 精氨酸 (Arg)    | 27.48  |
| 丙氨酸 (Ala)    | 51.61  |
| 酪氨酸 (Tyr)    | 16.58  |
| 半胱氨酸 (Cys-s) | 1.92   |
| 缬氨酸 (Val)    | 1.76   |
| 蛋氨酸 (Met)    | 16.33  |
| 苯丙氨酸 (Phe)   | 11.77  |
| 异亮氨酸 (Ile)   | 47.18  |
| 亮氨酸 (Leu)    | 12.98  |
| 赖氨酸 (Lys)    | 28.54  |
| 脯氨酸 (Pro)    | 10.65  |

表 4 展示了部分玉米浆产品中蛋白质、灰分、总酸、黄曲霉毒素、玉米赤霉烯酮、呕吐毒素及重金属的含量。检测方法分别按照中华人民共和国国家标准 GB 5009.5-2010、GB 5009.4-2010、GB/T 5009.22-2003、GB 5009.24-2014、GB/T 23504-2009、GB/T 23502-2009、GB/T 12456-2008。

表 4 部分玉米浆中成分含量

| 名称            | 含量     |
|---------------|--------|
| 蛋白质 (湿基) (%)  | 21.4   |
| 灰分 (%)        | 15.4   |
| 总酸 (%)        | 7.69   |
| 黄曲霉毒素 (μg/L)  | 2.91   |
| 玉米赤霉烯酮 (μg/L) | 556.32 |
| 呕吐毒素 (μg/L)   | 1 193  |
| 重金属           | 未检出    |

黄曲霉毒素、玉米赤霉烯酮、赭曲霉毒素是玉米浆中主要毒素成分，是玉米浆处理过程中的关键控制点<sup>[44]</sup>。通常情况下，由于玉米产地及批次的差异，毒素含量差异较大。一般来讲，华北地区玉米浆中的毒素容易超标。这就严重限制了玉米浆在

饲料行业的使用。因此，利用玉米浆开发生物菌肥，能够有效利用土壤对毒素的缓释和降解作用，从而避免生物毒素对人类和畜禽的直接毒害，同时又能够有效利用玉米浆中的营养成分，解决企业废弃物堆积和环境污染等社会问题。

5 展望

利用农产品废弃物生产生物菌肥已经成为国内外近年来研究的热点，今后对于菌肥的研究重点将会集中在：(1) 高效功能菌种与抗逆菌种的筛选分离，构建微生物菌肥菌种资源库；(2) 由单一菌种向混合菌种共生发酵方向发展，不断优化混合菌种发酵工艺；(3) 将废弃物资源化利用与生物菌肥结合，向废弃物循环再利用的绿色农业方向发展；(4) 开发具有特定功能的生物菌肥，不断提高菌肥的应用效果；(5) 不断延长菌肥货架期，提高菌肥在土壤环境胁迫下的持久性和稳定性，将生物菌肥更高效、低成本的应用到工业水平。

随着化肥、农药大量使用，病虫害加剧、土壤板结、不溶性磷酸盐含量增加等环境污染问题日益突出，同时农产品废弃物难以被有效利用等问题的不断出现，有效整合农产品废弃物资源化利用和高效菌肥的开发越来越受到人们的重视。农产品废弃物发酵生物菌肥将环境治理、资源利用、农业生产三者有机结合起来，不仅能够解决废弃物的利用问题，还可以减少化肥农药的使用，缓解其对环境的污染，同时能够改善土壤的理化性质，增加土壤肥力，抑制病原菌，调节植物生长；在农产品安全、生态文明、可持续发展绿色农业方面做出重要贡献。另外，玉米浆作为一种优质的生物菌肥生产原料，同时具备解决环境污染、增加企业附加值、改善土壤环境、促进有机食品发展等多重优势，为实现可持续发展的生态农业提供切实可行的解决思路，具有广阔的发展前景。

参考文献：

[1] 葛磊. 农业废弃物资源化利用现状及前景展望 [J]. 农村经济与科技, 2018, 29 (21): 18-19.

[2] 张儒何, 洪春来, 朱凤香, 等. 农业废弃物资源化利用现状与前景展望 [J]. 现代农业科技, 2013, (20): 209, 218.

[3] 李淑兰, 梅自力, 张顺繁, 等. 我国农产品加工废弃物的类型及主要利用途径 [J]. 中国沼气, 2015, 33 (4): 70-72.

[4] 郑露露, 闫晓明, 陶敬, 等. 农业固体废弃物循环利用现状及循环利用方式 [J]. 浙江农业科学, 2016, 57 (7):



- 1112-1114.
- [5] 王粉莲, 苏利民, 王萍, 等. 生物肥料在国内外的研究现状[J]. 内蒙古农业科技, 2010, (6): 74-75.
- [6] Abboud M A A, Ghany T M A, And M M A. Role of biofertilizers in agriculture: a brief review [J]. Mycopath, 2013, 11 (2): 95-101.
- [7] Wang H Y, Liu S, Zhai L M, et al. Preparation and utilization of phosphate bio-fertilizers using agricultural waste [J]. Journal of Integrative Agriculture, 2015, 14 (1): 158-167.
- [8] Xu S, Bai Z, Jin B, et al. Bioconversion of wastewater from sweet potato starch production to *Paenibacillus polymyxa* bio-fertilizer for tea plants [J]. Scientific Reports, 2014, 4 (1): 4131.
- [9] 赵悦宛. 生化黄腐酸复合微生物菌肥半固体发酵工艺的研究及其在苹果中的应用[D]. 西安: 西北大学, 2012.
- [10] 卢占军, 钟八莲, 易龙, 等. 利用柑橘皮渣为主要原料制备生物有机肥的研究[J]. 安徽农业科学, 2011, 39 (20): 12176-12178.
- [11] Ogbo F C. Conversion of cassava wastes for biofertilizer production using phosphate solubilizing fungi [J]. Bioresour Technol, 2010, 101 (11): 4120-4124.
- [12] Namfon P, Ratchanok S, Chalida D. Optimization of the liquid biofertilizer production in batch fermentation with by-product from MSG [C] // International conference on chemistry, Chemical Process and Engineering (IC3PE) 2017. Las Vegas: AIP Conference Proceedings, 2017.
- [13] Zhu H J, Sun L F, Zhang Y F, et al. Conversion of spent mushroom substrate to biofertilizer using a stress-tolerant phosphate-solubilizing *Pichia farinose* FL7 [J]. Bioresource Technology, 2012, 111: 410-416.
- [14] 曾振基, 陈逸湘, 凌宏通, 等. 食用菌菌糠生产有机肥研究[J]. 中国食用菌, 2015, 34 (2): 56-59.
- [15] 肖伟. 芽孢杆菌 Hitwh-BA2 生产海带渣菌肥及对黄曲霉毒素生防作用[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2014.
- [16] 王分分. 利用木薯酒精废水生产微生物菌肥研究[D]. 石家庄: 河北科技大学, 2016.
- [17] Du C, Abdullah J J, Greetham D, et al. Valorization of food waste into biofertiliser and its field application [J]. Journal of Cleaner Production, 2018, 187: 273-284.
- [18] 赵恺凝, 赵国柱, 国辉, 等. 园林废弃物堆肥化技术中微生物菌剂的功能与作用[J]. 生物技术通报, 2016, 32 (1): 41-48.
- [19] 谭宏伟. 糖厂滤泥发酵制成生物有机肥[J]. 南方农业学报, 2017, 48 (3): 428-432.
- [20] Tsai S H, Liu C P, Yang S S. Microbial conversion of food wastes for biofertilizer production with thermophilic lipolytic microbes [J]. Renewable Energy, 2007, 32 (6): 904-915.
- [21] 覃玲灵, 何钢, 陈介南. 里氏木霉及其纤维素酶高产菌株的研究进展[J]. 生物技术通报, 2011, (5): 43-49.
- [22] 戴乐天. 真菌溶磷菌肥的研发及其促进玉米生长的效果研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2016.
- [23] Vassilev N, Vassileva M, Lopez A, et al. Unexploited potential of some biotechnological techniques for biofertilizer production and formulation [J]. Applied Microbiology and Biotechnology, 2015, 99: 4983-4996.
- [24] Chang C H, Yang S S. Thermo-tolerant phosphate-solubilizing microbes for multi-functional biofertilizer preparation [J]. Bioresource Technology, 2009, 100 (4): 1648-1658.
- [25] 刘德飞. 益生芽孢杆菌固体发酵工艺及其微生物肥料应用研究[D]. 济南: 齐鲁工业大学, 2015.
- [26] 孙丽范. 利用耐盐碱解磷、解钾、固氮菌发酵菌糠制备菌肥的研究[D]. 天津: 天津大学, 2012.
- [27] 宋敏, 罗红宇, 刘为, 等. 下脚料制备生物菌肥的工艺优化及养分测定[J]. 环境工程学报, 2016, 10 (5): 2647-2654.
- [28] 刘雪莲. 葡萄皮渣固态发酵生产有机肥的影响因素[J]. 北方园艺, 2015, (5): 181-183.
- [29] Selim S M, Zayed M S. Role of biofertilizers in sustainable agriculture under abiotic stresses [M] // Microorganisms for green revolution. Springer, 2017.
- [30] Mahdi S S, Hassan G I, Samoon S A, et al. Bio-fertilizers in organic agriculture [J]. Journal of Phytology, 2010, 2 (10): 42-54.
- [31] Mahanty T, Bhattacharjee S, Goswami M, et al. Biofertilizers: a potential approach for sustainable agriculture development [J]. Environmental Science and Pollution Research, 2016, 24 (4): 3315-3335.
- [32] 毛晓洁, 王新民, 赵英, 等. 多功能固氮菌筛选及其在土壤生态修复中的应用[J]. 生物技术通报, 2017, 33 (10): 148-155.
- [33] 吴正肖. 复合微生物肥料研制与效果研究[D]. 贵阳: 贵州大学, 2017.
- [34] 王永京, 林昌源, 任连海, 等. 餐厨垃圾废水制备液态固氮菌肥的培养特性研究[J]. 绿色科技, 2018, (8): 103-106.
- [35] 柳艳艳, 骆洪义, 王凤忠, 等. 巨大芽孢杆菌(BM002)生物有机肥对油菜生长发育的影响[J]. 山东农业科学, 2012, 44 (7): 63-66.
- [36] Pangnakorn U, Watanasorn S, Kuntha C, et al. Application of wood vinegar to fermented liquid bio-fertilizer for organic agriculture on soybean [J]. Asian Journal of Food and Agro-Industry, 2009, 2: 189-196.
- [37] Zhang N, Wu K, He X, et al. A new bioorganic fertilizer can effectively control banana wilt by strong colonization with *Bacillus subtilis* N11 [J]. Plant & Soil, 2011, 344 (1-2): 87-97.
- [38] 周巍, 彭霞薇, 李宝聚, 等. 绿色木霉菌糠发酵物对常见黄瓜土传病害的防治[J]. 广东农业科学, 2012, 39 (14): 78-81.
- [39] 杨力凡. 深绿木霉 *Trichoderma atroviride* 生物菌肥的研制及对油菜菌核病、根肿病的生物防治[D]. 雅安: 四川农业大学, 2010.
- [40] Bhardwaj D, Ansari M W, Sahoo R K, et al. Biofertilizers

- function as key player in sustainable agriculture by improving soil fertility, plant tolerance and crop productivity [J]. *Microbial Cell Factories*, 2014, 13 (1): 66–66.
- [41] 陈莎莎, 孙敏, 王文超, 等. 溶磷真菌固体发酵菌肥对玉米生长及根际细菌群落结构的影响 [J]. *农业环境科学学报*, 2018, 37 (9): 1910–1917.
- [42] 李世风, 秦超, 闫刚, 等. 糠醛渣生态肥对风沙土壤理化性质和茄子效益的影响 [J]. *土壤*, 2016, 48 (5): 893–900.
- [43] 邢燕菊, 徐立华, 韩金龙, 等. 玉米高值化加工研究进展 [J]. *中国食物与营养*, 2010, (7): 32–35.
- [44] Inês Rodrigues, Karin Naehrer. 百奥明: 2012 年全球霉菌毒素调查报告 [J]. 张艳, 译. *中国畜牧杂志*, 2013, 49 (14): 15–18, 23.

#### Research advance on bacterial manure from agro-processing waste

ZHAO Xin-he<sup>1+</sup>, HE Zhuang-zhuang<sup>1+</sup>, LI Hong-jun<sup>1, 3</sup>, ZHAO Yu-bin<sup>2</sup>, MA Cheng-ye<sup>1, 3\*</sup> (1. School of Agricultural Engineering and Food Science, Shandong University of Technology, Zibo Shandong 255000; 2. Luzhou Bio-chem Technology Limited, Linyi Shandong 276400; 3. Key Laboratory of Shandong Provincial Universities for Technologies in Functional Agricultural Products, Zibo Shandong 255000)

**Abstract:** Due to the high treatment cost and potential environmental pollution, agro-processing waste causes high pressure and difficulties to enterprises and society. Bacterial manure from agro-processing waste can effectively decompose the degradable components, then play a role in nitrogen fixation, growth promotion, phosphorus and potassium decomposing, and biological prevention, etc. This paper reviewed bacterial manure production from agro-processing waste in recent years, which introduced different agro-processing waste as substrate or various strains performance, and analyzed the developing trend of bacterial manure by agro-processing waste. It provided reference for the further research on bacterial manure technology based on agro-processing waste. Meanwhile, this paper proposed to use corn starch processing waste-corn steep liquor, as raw material to develop high protein bacterial manure. And preliminary analysis of the nutrient composition and toxin content in corn steep liquor was completed, which provided basic research data for the next step of bacterial manure developing on corn steep liquor.

**Key words:** agro-processing waste; bacterial manure; fermentation technology; corn steep liquor