

天然橡胶加工废水发酵及资源化利用初步研究

何艳丽^{1, 2}, 徐文¹, 李云³, 陈杰⁴, 张凌霄¹,
林清火², 高翔宇⁵, 杨红竹², 茶正早^{1, 2*}

(1. 海南大学生态与环境学院, 海南 海口 570228; 2. 儋州橡胶林土壤环境海南省野外科学观测站, 中国热带农业科学院橡胶研究所, 海南 海口 570101; 3. 勐腊田野橡胶销售有限责任公司, 云南 勐腊 666303; 4. 浙江甬信检测技术有限公司, 浙江 宁波 315000; 5. 浙江仁欣环科院有限责任公司, 浙江 宁波 315012)

摘要:天然橡胶加工废水处理、排放是天然橡胶加工产业亟待解决的实际问题, 探究不同菌剂对天然橡胶加工废水的发酵效果并将其资源化利用, 具有较高的生产应用价值。设置不添加菌剂、添加芽孢杆菌、放线菌、黑曲霉菌 4 种不同的处理对天然橡胶废水进行好氧发酵, 并以清水和复合肥作为对照, 进行盆栽试验研究不同发酵液对小白菜生长、品质及土壤理化性质的影响。结果表明: 添加黑曲霉菌发酵效果最优, 其次为芽孢杆菌、放线菌发酵处理; 不同处理的发酵液灌溉对小白菜的生长品质均有较好的提升作用, 其中添加黑曲霉菌、放线菌发酵处理提升效果最优, 其次为添加芽孢杆菌处理; 添加菌剂各处理对土壤孔隙度有提升趋势, 且平均值高于清水对照 (1.76%), 其中添加黑曲霉菌发酵液对土壤孔隙度提升最高。与清水对照相比, 添加黑曲霉菌发酵液灌溉后土壤 pH、有机质含量分别提高了 0.33%、19.21%。综上, 添加黑曲霉菌处理对小白菜生长品质提升效果最优且对土壤孔隙度不造成影响。

关键词:天然橡胶加工废水; 发酵; 小白菜; 品质; 土壤

海南省是我国天然橡胶的最大产地之一, 2020 年产量达 33.7 万 t, 其生产加工过程中产生废水约 606.6 万 t^[1]。天然橡胶的生产加工过程中稀释和凝固胶乳、洗涤凝块和制胶机械的用水, 以及新鲜胶乳的大量乳清和未凝固部分, 最后都变成废水。因此, 橡胶废水是由生产用水、未凝固的胶乳和大量非胶组分 (如蛋白质、类脂、糖类、无机盐等) 所组成^[2], 如直接排放将对环境造成严重污染^[3]; 长期简单的直接浇灌利用模式会导致土壤孔隙堵塞, 土壤板结^[4-8]。因此, 这些废弃物如何进行适当的处理, 在产生社会效益为人类社会服务的同时不对环境造成危害是国内外学者关注的重点, 也是海南省和全国其他植胶区面临的难题^[9-14]。

橡胶废水的资源化利用一直是国内外研究的重点方向, 黄亚文^[13]研究表明, 胶清废水经厌氧处

理简单稀释和调整 pH 后, 可直接灌溉促进植物生长; Hussain 等^[14]发现, 直接将只经过厌氧好氧系统处理过的天然橡胶废水排入到胶园、椰林中, 废水中的蛋白质成分和少量的橡胶颗粒会导致土壤孔隙堵塞; 张旭等^[15]的试验结果显示, 出水不稳定的酸凝槽废水易造成土壤板结, 并指出若分离其中易于使土壤胶结沉淀的高分子物质可减少对比体结构的影响。橡胶废水中的橡胶分子是造成土壤孔隙堵塞的主要原因, 而对橡胶废水中的橡胶分子进行分离能够减少对土壤的危害。目前, 较为常用的分离方法有很多, 其中利用对橡胶分子有降解能力的微生物对橡胶废水进行发酵处理是比较环保的处理方法, 不仅能够达到降解橡胶类物质的目的, 还可以提升植物的质量与产量^[16-18]。杨康等^[16]发现, 猪场废水发酵制成微生物菌体能极好地提高小青菜的质量与产量。倪秀元等^[17]试验结果证实了天然橡胶的生物降解性, 其分离出的降解菌为放线菌; 龚英等^[18]研究显示, 黑曲霉菌对天然橡胶中多种组分具有良好的降解作用, 能破坏天然橡胶中的交联键, 促进降解; 马来西亚橡胶研究院研究表明, 降解后的橡胶废水浓缩并平衡养分后可以加工成有机肥料, 并对叶菜类蔬

收稿日期: 2023-01-17; 录用日期: 2023-03-06

基金项目: 国家天然橡胶产业技术体系项目 (CARS-33-ZP2); 农业农村部开放课题 (XJSHT-01)。

作者简介: 何艳丽 (1993-), 硕士研究生, 助理工程师, 研究方向为资源利用与植物保护 (环境资源与利用)。E-mail: heyanyi.2010@foxmail.com。

通讯作者: 茶正早, E-mail: chazhengzao@163.com。

菜生长有利^[19]；夏福君^[20]研究显示，使用有效微生物群（EM）菌群凝固胶乳后的废液经过稀释后进行根施可使蔬菜产量增加，提高了土壤有机质、无机金属离子等含量，同时也避免了土壤板结问题。综上，目前天然橡胶加工废水发酵过程中筛选优良菌剂是解决橡胶废水资源化利用的关键。本研究选取芽孢杆菌、放线菌、黑曲霉菌等3种不同的菌剂对橡胶废水进行好氧发酵处理，从而降低直接灌溉利用对土壤造成的不良影响^[19-26]。并进一步通过盆栽试验研究发酵液灌溉对小白菜生长、品质及土壤理化性质的影响，探究发

酵处理对橡胶废水资源化利用的可行性和优良性。

1 材料与方法

1.1 供试材料

供试土壤取自中国热带农业科学院试验场五队胶园0~20 cm的表层土，其土壤为砖红壤。土样自然风干过1 cm筛后充分混匀装入直径25 cm、高20 cm的塑料盆中，每盆装土5 kg，不施底肥。土壤的基本理化性质见表1；供试植物为小白菜，品种为抗热605；供试废水水样取自海南省中国热带农业科学院试验场制胶厂，其基本指标测定见表2。

表1 土壤基本理化性质

土壤	pH	有机质 (g/kg)	全氮 (g/kg)	有效磷 (mg/kg)	速效钾 (mg/kg)
砖红壤	4.53	12.86	0.63	3.26	86.34

表2 供试废水水样基本指标

废水水样	pH	总氮 (mg/L)	总磷 (mg/L)	全钾 (mg/L)	氨氮 (mg/L)	悬浮物 (mg/L)
橡胶废水	6.27	398.69	670.4	22.18	288.41	1175

1.2 试验设计与方法

1.2.1 试验设计

本研究设置4个处理和2个对照，重复3次。F1：以废水中不添加菌剂发酵液浇灌小白菜；F2：以添加芽孢杆菌2%发酵液浇灌小白菜；F3：以添加放线菌2%发酵液浇灌小白菜；F4：以添加黑曲霉2%发酵液浇灌小白菜；CF：以复合肥（N:P:K=15:15:150）水溶液（400 mg/L）浇灌小白菜作为对照；CK：以清水浇灌小白菜作为对照。试验中发酵液均经好氧发酵10 d后制得，见表3。

试验地点位于中国热带农业科学院试验场五队（19° 29' 8.4" N，109° 29' 8.4" E），小白菜播种时间为2021年7月24日，每个处理3次重复，每盆种30颗左右，小白菜生长过程中每日早晚浇水（称重法）1~2次，以保证小白菜生长对水分的需求。2021年7月26日小白菜出苗，出苗后进行两次间苗，最后每盆留10株生长一致的幼苗。2021年8月5日进行第一次施肥，所用发酵液、清水、复合肥水溶液量均为150 mL/盆，每7 d追肥一次，共追肥4次。2022年9月5日取样测量每盆小白菜生长状况，测量株高、叶宽、茎长等指标，同时将土壤风干备测。

1.2.2 测定方法

小白菜生长指标的测定：使用直尺测量植株株高、叶面积；鲜重、干重采用烘干称重法^[27]。

植株生长品质的测定^[13, 23]：叶绿素含量采用丙酮-乙醇混合液比色法；可溶性糖含量采用苯酚法；有机酸含量采用酸碱滴定法；维生素C含量采用2,6-二氯酚靛酚滴定法；硝酸盐含量采用硝酸盐消化法。

土壤理化性质的测定^[15, 13, 28]：pH采用电位法进行测定；采用重铬酸钾氧化外加热法测定有机质含量；全氮采用半微量凯氏定氮法；有效磷采用钼锑抗比色法；速效钾采用火焰光度法；孔隙度采用环刀法。

1.3 统计分析

用SPSS 26.0对结果进行数据处理和单因素方差分析（one-way ANOVA），使用Origin进行图表绘制。

2 结果与分析

2.1 不同处理对天然橡胶加工废水的发酵效果

如表3所示，发酵液pH值各处理间无显著差异，相比发酵前（6.27），F1、F2、F3、F4处理分别提高了0.98、1.12、1.10、1.18个单位；总氮、全钾、

氨氮含量添加菌剂处理 (F2、F3、F4) 高于不添加菌剂处理, 添加菌剂处理中 F4 与 F2 处理含量较高, 且 F4>F2; 总磷添加菌剂处理小于不添加菌剂 F1 处理, 其中添加菌剂处理中 F3 处理含量较高, F2 与 F3 处

理无显著性差异; 悬浮物各处理间存在显著性差异, 且 F1<F2<F4<F3。F4 处理总氮、全钾、氨氮含量最优, 且 F4 与 F2 处理总磷含量不存在显著差异。说明, F2、F4 处理发酵效果最优, 其次为 F3 处理。

表 3 不同处理对天然橡胶加工废水发酵效果的比较

处理	pH	总氮 (mg/L)	总磷 (mg/L)	全钾 (mg/L)	氨氮 (mg/L)	悬浮物 (mg/L)
F1	7.25 ± 0.62a	220.86 ± 35.85c	541.69 ± 4.44a	16.36 ± 0.24c	85.50 ± 3.85d	236.67 ± 4.16d
F2	7.39 ± 0.40a	416.93 ± 7.39a	351.57 ± 21.96bc	20.26 ± 0.12b	145.88 ± 7.52c	461.67 ± 6.15c
F3	7.37 ± 0.53a	301.16 ± 25.34b	386.00 ± 20.32b	20.15 ± 0.32b	124.63 ± 5.90b	724.00 ± 2.65a
F4	7.45 ± 0.40a	427.06 ± 27.61a	323.39 ± 22.04c	28.34 ± 0.37a	182.66 ± 7.62a	482.67 ± 3.06b

注: 表中同列数据后的不同小写字母表示各处理在 0.05 水平上差异显著。下同。

2.2 不同处理发酵液对小白菜生长的影响

由图 1a 可见, F2、F3、F4、CF 处理株高显著高于 CK, F1 处理与 CK 之间无显著性差异, 其中, F2、F3、F4 处理分别高于 CK 7.4%、19.1%、13.4%, 说明 F2、F3、F4 处理对小白菜株高有较好的提升效果。由图 1b、c 可见, 添加菌剂的处理 (F2、F3、F4) 在鲜重和干重方面显著高于 CK, 其中鲜重比 CK 分别高

151%、103%、123%, 干重分别高于 CK 处理 179.4%、214.7%、123.5%, 但以上 3 种处理均小于 CF, 鲜重和干重比 CF 分别小 47.4% 和 57.4%、53.4% 和 34.5%、26.2% 和 47.6%; 在 4 种处理中, 鲜重方面 F2 处理最高, F1 处理最低, 干重方面 F3 处理最高, F2 处理次之。以上结果表明, 发酵液对鲜重、干重均有提升效果, 且添加菌剂的处理提升效果优于不添加菌

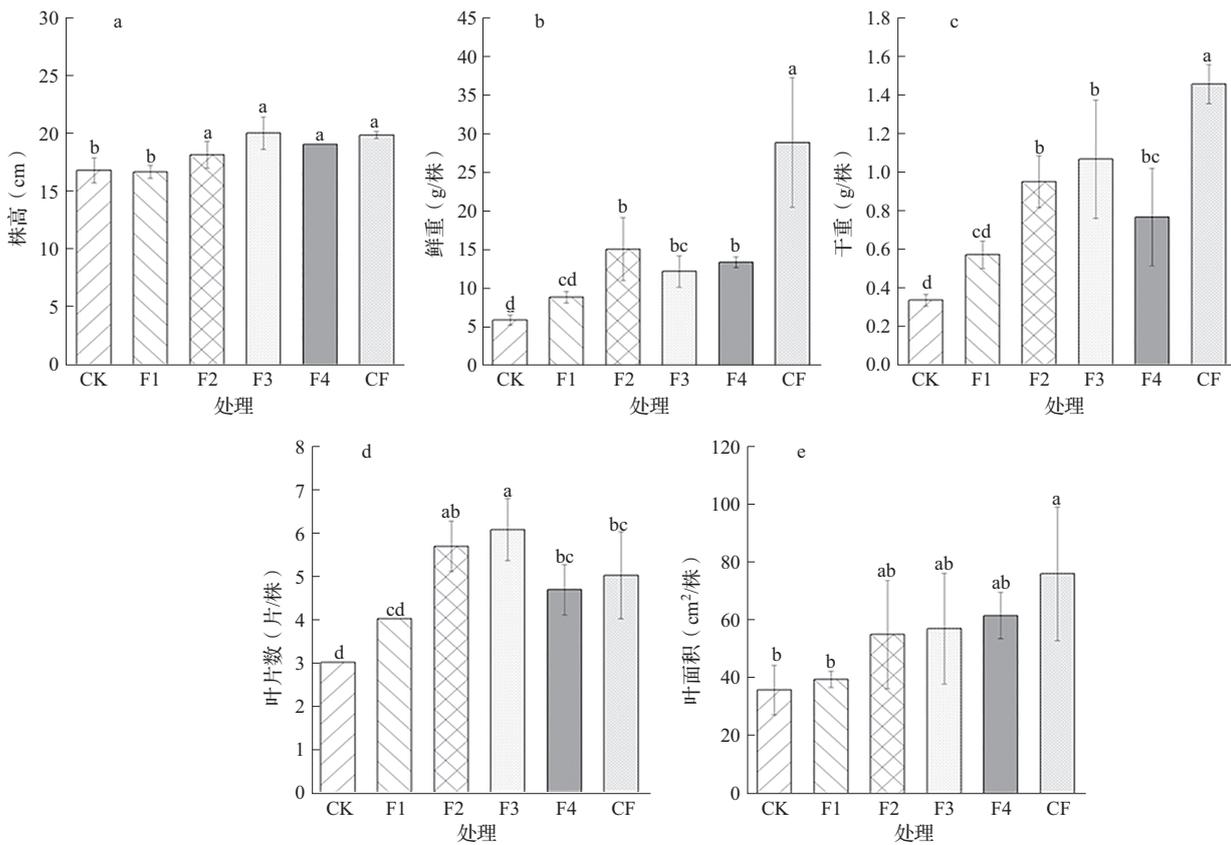


图 1 不同处理发酵液对小白菜生长的影响

注: 不同小写字母表示不同处理间存在显著差异 ($P<0.05$)。下同。

剂处理。由图 1d 可见, 在叶片数方面, F1、F2、F3、F4 各发酵液处理均大于 CK, 分别高于 CK 33.3%、89.0%、101.7%、55.7%, 其中 F2、F3 大于 CF, F4 小于 CF。表明, 在叶片数方面 F2、F3 提升效果最好。由图 1e 可见, 在叶面积方面, 各处理均高于 CK, 表明发酵液对叶面积均具有提升效果, 其中 F2、F3 处理提升效果最好。综上, 发酵液对小白菜的生长均有提升效果, 且添加菌剂的 F3 处理优于其他处理。

2.3 不同处理发酵液对小白菜品质的影响

由图 2a 可知, 在叶绿素含量方面, F3 处理最高且显著高于 CK; F1、F2 叶绿素含量较低, 小于 CK 且显著小于 CF; F4 含量处于 CK 和 CF 之间。结果说明, 添加菌剂的处理 (F3、F4) 均优于 CK, 但低于 CF。由图 2b 可知, 在可溶性糖方面, F1、F2 处理显著高于 CK 和 CF; F3、F4 低于 CF, 且与 CK 不存在显著性差异。说明不添加菌剂处理 (F1) 和添加芽孢杆菌处理 (F2) 对小白菜可溶性糖含量有

较好的提升效果, 而添加放线菌处理 (F3) 和添加黑曲霉菌处理 (F4) 无明显效果。由图 2c 可知, 有机酸含量 F1、F2、F3、F4 显著低于 CF; F1、F2、F4 显著低于 CK 和 F3, 但 F3 与 CK 之间无显著性差异。结果说明, 在有机酸含量方面不添加菌剂处理 (F1)、添加芽孢杆菌处理 (F2)、添加黑曲霉菌处理 (F4) 降低了有机酸含量, 但添加放线菌处理 (F3) 不会影响小白菜的有机酸含量。

由图 2d 可知, 在维生素 C 含量方面, F2、F3、F4 均显著高于 CK, 但 F1 与 CK 之间无显著性差异; CF 含量显著高于其余各处理。结果说明, 添加芽孢杆菌处理 (F2)、添加放线菌处理 (F3)、添加黑曲霉菌处理 (F4) 对小白菜维生素 C 含量有较好的提升效果, 且优于不添加菌剂处理 (F1)。由图 2e 可知, 在硝酸盐含量方面 F2 显著高于其余各处理; F1、F3 与 CK 不存在显著性差异, 且显著高于 F4 和 CF。说明, F2 提高了小白菜的硝酸盐含量, 但 F4 对小白菜的硝酸盐含量有降低作用。

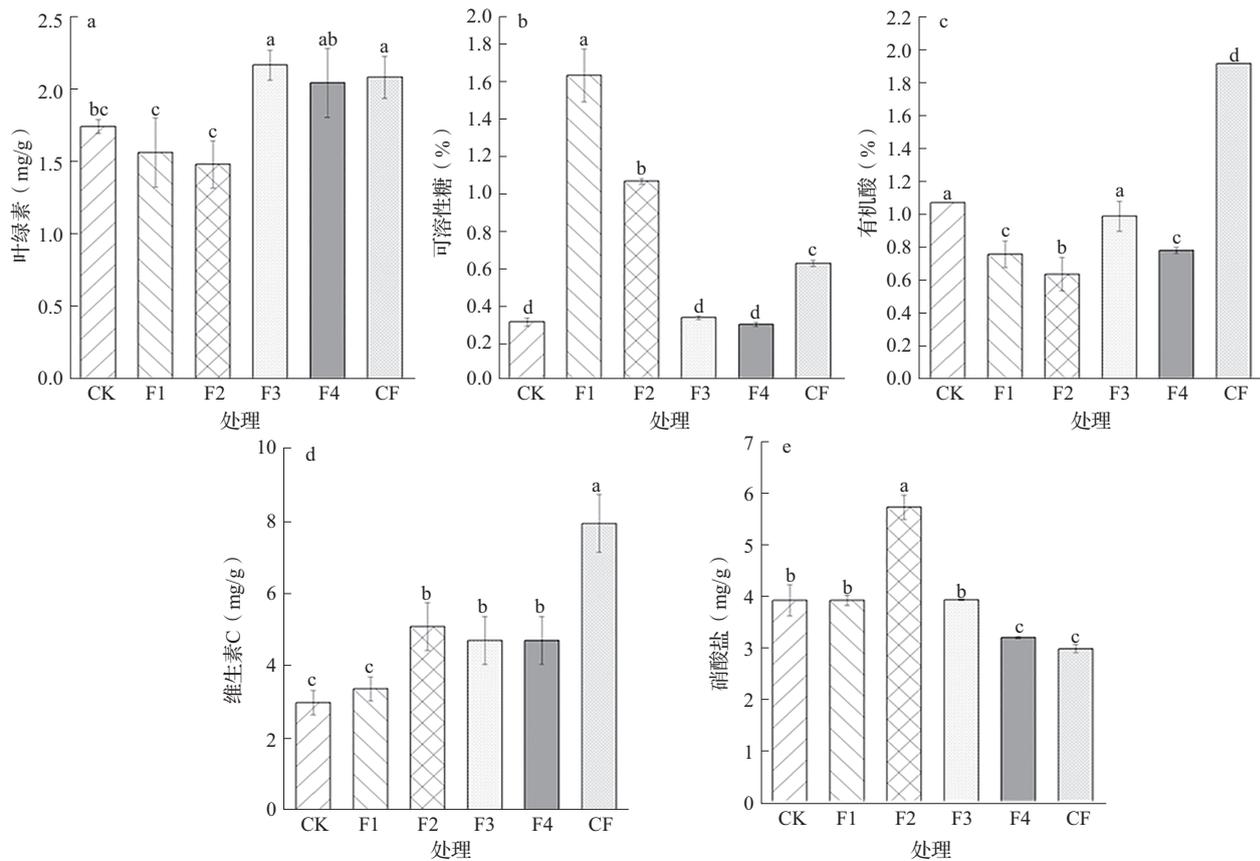


图 2 不同处理发酵液对小白菜品质的影响

2.4 不同处理发酵液对土壤性质的影响

由表 4 可见, pH 方面, 所有处理土壤 pH 均

大于土壤背景值 (4.53)。其中, F4 对土壤 pH 的提升效果最好且高于 CK 和 CF, 分别提升了

5.3%、19.1%。孔隙度方面, 经过橡胶废水发酵液浇灌过的土壤与 CK 无显著性差异, 说明橡胶废水经过发酵后会造土壤孔隙堵塞的橡胶类物

质可能已被降解, 即经过发酵处理后的橡胶废水资源化利用较直接灌溉对土壤孔隙度的影响较小。

表 4 不同处理发酵液对土壤性质的影响

处理	pH	孔隙度 (%)	全氮 (g/kg)	有效磷 (mg/kg)	速效钾 (mg/kg)	有机质 (g/kg)
CK	6.19 ± 0.19b	45.99 ± 4.80a	3.85 ± 0.56a	2.31 ± 0.08b	20.04 ± 1.01d	12.54 ± 0.30c
F1	5.57 ± 0.07d	47.38 ± 3.18a	4.04 ± 0.42a	2.20 ± 0.14bc	58.96 ± 2.54b	15.47 ± 0.64a
F2	5.81 ± 0.02c	47.10 ± 5.22a	3.93 ± 0.27a	2.12 ± 0.09c	67.43 ± 2.53a	14.44 ± 0.34b
F3	5.84 ± 0.05c	48.91 ± 1.98a	3.81 ± 0.29a	1.95 ± 0.09d	61.74 ± 2.29b	14.54 ± 0.34b
F4	6.52 ± 0.04a	47.60 ± 0.86a	4.05 ± 0.44a	2.10 ± 0.01cd	60.07 ± 0.96b	14.95 ± 0.15ab
CF	5.47 ± 0.08d	47.85 ± 3.13a	4.03 ± 0.65a	3.17 ± 0.09a	66.59 ± 0.72a	14.35 ± 0.09b

不同处理对土壤全氮的影响效果不显著, 但与 CK 相比, F1、F2、F4 处理对土壤全氮含量均有一定的提升趋势, F3 处理有减少趋势。有效磷方面, CF 显著高于其余各处理, F1 处理与 CK 间无显著性差异, F2、F3、F4 处理显著低于 CK。速效钾含量方面, CK 显著低于其余各处理; F2 处理与 CF 不存在显著性差异; F1、F3、F4 处理显著低于 CF 且三者之间无显著性差异。结果表明, F1、F2、F3、F4 处理对土壤有效磷的提升效果不显著, 但在速效钾方面, 添加芽孢杆菌处理 (F2) 对土壤速效钾的提升高于其他处理。

有机质含量方面, CK 显著低于其余处理; F1、F2、F3、F4 处理均高于 CF; 添加菌剂的 F2、F3、F4 处理间不存在显著差异, 且均低于 F1 处理, 其大小顺序为 F1>F4>F3>F2>CF>CK。可见, 橡胶废水发酵液灌溉后提升了土壤有机质含量。

3 讨论

3.1 添加不同菌剂对橡胶废水发酵效果的影响

夏福君^[20]研究显示, 使用 EM 菌群凝固胶乳后的分离液营养物质含量提高主要来源于胶乳的非胶组分。龚英等^[18]研究显示, 黑曲霉菌不仅对天然橡胶中的蛋白质、脂类物质等非胶组分具有降解作用, 而且能通过分泌蛋白酶、纤维素酶等多种酶, 破坏橡胶分子的交联键, 以促进橡胶分子的生物降解; 本试验显示, 橡胶废水发酵后结果与其结论基本一致, 添加黑曲霉菌、芽孢杆菌处理的发酵液大多数营养成分含量显著高于不添加菌剂处理的发酵液, 这说明黑曲霉菌、芽孢杆菌可能降解了橡

胶废水中的非胶组分, 且用经过黑曲霉菌、芽孢杆菌处理后的发酵液浇灌土壤后, 其孔隙度没有发生显著变化, 说明黑曲霉菌、芽孢杆菌在发酵过程中也可能对橡胶分子产生了降解效果; 倪秀元等^[17]试验也证实了放线菌能够通过烯烃氧化的过程对硫化的天然橡胶起到降解作用。本试验结果显示, 添加放线菌处理的发酵液中营养物质低于添加黑曲霉菌和放线菌处理, 但土壤孔隙度有高于其他菌剂处理的趋势, 这可能是因为放线菌对橡胶分子的降解效果好, 但是在降解过程中消耗了更多的营养物质。

3.2 发酵液灌溉对小白菜生长及品质的影响

汪秀华等^[27]研究表明, 潜流式人工湿地系统通过物理、化学、生物 3 种作用净化后的废水能促进湿地作物的生长与品质的改善; 符瑞雷等^[28]研究表明, 浓度为 10% 的胶清废水、浓度为 40% 厌氧池出水处理、好氧处理二沉池水处理对小白菜生长及品质具有一定的促进作用; 黄亚文^[13]得出, 不同浓度的橡胶废水浇灌提高了茼蒿叶绿素、维生素 C、总糖含量; 本试验结论与其相似, 不同处理的发酵液对小白菜生长有一定的促进作用, 各处理对叶绿素、维生素 C 含量有很好的提升作用, 且添加菌剂处理提升效果优于不添加菌剂处理, 其中添加黑曲霉菌处理对小白菜叶绿素含量、维生素 C 提升效果更优, 这可能是因为添加黑曲霉菌处理的发酵液中富含较多营养物质有益于植物的生长。添加芽孢杆菌的处理小白菜硝酸盐含量显著高于其余处理, 这可能是因为发酵过程中产生的硝态氮含量较高, 容易被小白菜吸收利用, 导致了小

白菜体内硝酸盐含量较高。

3.3 发酵液灌溉对土壤性质的影响

黄亚文^[13]利用胶清废水离心制备的胶清液浇灌土壤后,土壤速效养分增加,pH变化不大;延晓惠^[21]研究发现,施加胶清液可提高土壤pH、有机质含量。本试验结果与其基本一致,发酵液浇灌后各处理均对土壤有一定的改良作用,其中添加黑曲霉菌处理对土壤pH、有机质提升效果最优,结果的差异可能是不同菌剂发酵的产物不同,在盆栽过程中对土壤酸性改良作用存在差异所造成的。绍立明等^[29]研究显示,餐厨垃圾废水发酵液能显著提升土壤中的氮、磷、钾等养分和有机质含量。本试验结论与其结果大致相同,发酵液灌溉对土壤全氮、速效钾提升效果较好,但是降低了土壤有效磷含量,这可能是两个方面的原因,一方面橡胶废水发酵液中的微生物可能对土壤解磷菌有一定的抑制效果;另一方面可能是橡胶废水和复合肥中的养分一定程度上刺激了小白菜对有效磷的吸收。Hussain等^[14]发现,制胶废水灌溉胶园和椰林会导致土壤孔隙堵塞;张旭等^[15]试验结果显示,出水不稳定的酸凝槽废水易造成土壤板结。本试验结果显示,添加放线菌处理和添加黑曲霉菌处理对土壤孔隙度无显著影响,这可能是因为放线菌和黑曲霉菌对废水中的胶类物质及其他大分子物质具有一定的降解作用。土壤养分是作物生长的基础,养分含量水平是土壤肥力的重要指标。橡胶废水发酵液浇灌利用能在一定程度上改善土壤的酸碱度及养分含量且不造成土壤孔隙堵塞,对农业的可持续发展具有深远的影响。

4 结论

(1) 添加黑曲霉菌处理发酵效果最优,其次为添加芽孢杆菌处理。

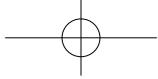
(2) 不同处理的发酵液灌溉对小白菜的生长品质均有很好的提升作用且添加菌剂处理优于不添加菌剂处理。

(3) 对小白菜维生素C、可溶性糖含量等的提升效果,最优为添加黑曲霉菌处理,其次为添加放线菌处理。

(4) 添加黑曲霉菌处理不仅提高了土壤pH、有机质含量且对土壤孔隙度无影响,可改良酸性土壤。

参考文献:

- [1] 丁丽,严花,赵立广,等.天然橡胶初加工废水污染物分析[J].农业与技术,2021,41(15):8-11.
- [2] 丁丽,陈美.天然橡胶加工废水处理及综合利用[J].热带农业科学,2005(6):64-67.
- [3] 周小飞.制胶废水的农用效应及其展望[J].热带农业科学,2000(2):59-61.
- [4] 岩利,姜士宽,徐荣,等.天然橡胶乳清废水与菌渣堆肥的研究[J].安全与环境学报,2021,21(3):1233-1239.
- [5] 王晓慧,尤丽娟.陈云对中国天然橡胶产业起步的贡献[J].上海党史与党建,2020(12):28-33.
- [6] 黎燕飞,蒋一帆,潘俊任.国内天然橡胶加工废水和废气处理的现状及存在问题[J].广东化工,2018,45(13):171-172,190.
- [7] 徐文,张江雄,唐文浩,等.海南省天然橡胶加工废水综合处理及利用技术分析[J].现代农业科技,2014(1):241-242,249.
- [8] 王旭婷,邢巧,吴晓晨,等.海南天然橡胶加工废水生态资源化利用探讨[J].安徽农业科学,2012,40(16):9051-9053.
- [9] 吴焕林.海南天然橡胶产业发展存在的问题及对策[J].现代化农业,2020(11):20-22.
- [10] 吴大波.海南天然橡胶产业发展瓶颈及对策[J].特种经济动植物,2021,24(4):67-68.
- [11] 李春荣.基于天然胶乳资源全利用的生态工艺研究—低蛋白浓缩胶乳及胶清基水土保持材料制备的实验研究[D].海口:海南大学,2014.
- [12] 李宗辉,唐文浩.天然橡胶加工废水处理的研究现状与前景[J].能源与环境,2007(1):34-35.
- [13] 黄亚文.天然橡胶加工废水灌溉对芫荽及土壤的影响研究[D].海口:海南大学,2012.
- [14] Hussain F, Shah S Z, Ahmad H, et al. Microalgae an ecofriendly and sustainable wastewater treatment option: Biomass application in biofuel and bio-fertilizer production. A review [J]. Renewable & Sustainable Energy Reviews, 2021, 137: 110603.
- [15] 张旭,刘坤,黄亚文,等.橡胶废水农田回用对土壤理化性质的影响[J].热带农业科学,2012,32(4):62-66.
- [16] 杨康,许士芳,俞雪美,等.猪场废水发酵制成的微生物菌肥对小白菜产量的影响[J].上海蔬菜,2021(5):80-81,87.
- [17] 倪秀元,胡建华,钱吉,等.顺式-1,4-聚异戊二烯的微生物降解[J].复旦学报(自然科学版),1999(5):565-567,571.
- [18] 龚英,陈继平,陈汉菊,等.黑曲霉菌对天然橡胶的降解作用初探[J].云南师范大学学报(自然科学版),2020,40(3):53-57.
- [19] 唐仕华.马来西亚利用天然橡胶乳清生产有机肥料[J].世界热带农业信息,1996(4):6.



- [20] 夏福君. 天然橡胶初加工清洁生产工艺的研究[D]. 儋州: 华南热带农业大学, 2002.
- [21] 延晓惠. 天然胶乳资源高效利用与农业生物制剂的实验研究[D]. 海口: 海南大学, 2017.
- [22] 袁静. 链霉菌属降解秸秆产物资源化利用[D]. 天津: 天津理工大学, 2016.
- [23] 甘金佳, 毛玲莉, 蒋水元, 等. 施用EM菌发酵有机肥对番茄植株生长·产量和品质的影响[J]. 安徽农业科学, 2021, 49(24): 178-181.
- [24] Mollea C, Bosco F. Natural rubber biodegradation by *Alternaria alternata* and *Penicillium chrysogenum* isolates[J]. *Bioremediation Journal*, 2020, 24(2-3): 112-128.
- [25] Basik A A, Sanglier J J, Yeo C T, et al. Microbial degradation of rubber: Actinobacteria[J]. *Polymers*, 2021, 13(12): 1989.
- [26] Bottier C. Biochemical composition of *Hevea brasiliensis* latex: A focus on the protein, lipid, carbohydrate and mineral contents[M] //Nawrot R. *Latex, laticifers and their molecular components: From functions to possible applications*: London: Academic Press Ltd-Elsevier Science Ltd, 2020: 93, 201-237.
- [27] 汪秀华, 唐文浩. 潜流式人工湿地系统处理制胶废水小型试验[J]. 热带农业科学, 2004(3): 4-8.
- [28] 符瑞蕾, 黄艳, 郭梦霞, 等. 天然橡胶加工废水(灌溉)对小白菜生长和品质的影响[J]. 海南大学学报(自然科学版), 2022, 40(3): 235-242.
- [29] 邵立明, 任俊达, 吕凡, 等. 餐厨垃圾生物发酵液对黄土丘陵区土壤质量的影响试验[J]. 环境科学, 2021, 42(9): 4500-4509.

Preliminary study on fermentation and resource utilization of natural rubber processing wastewater

HE Yan-li^{1, 2}, XU Wen¹, LI Yun³, CHEN Jie⁴, ZHANG Ling-xiao¹, LIN Qing-huo², GAO Xiang-yu⁵, YANG Hong-zhu², CHA Zheng-zao^{1, 2*} (1. College of Ecology and Environment, Haikou Hainan 570228; 2. Danzhou, Soil Environment of Rubber Plantation, Hainan Observation and Research Station, Rubber Research Institute, Chinese Academy of Tropical Agriculture Science, Haikou Hainan 570101; 3. Mengla Tianye Rubber Group Co., Ltd, Mengla Yunnan 666303; 4. Zhejiang Yongxin Testing Technology Co, LTD, Ningbo Zhejiang 315000; 5. Zhejiang RenXin Environmental Research Institute Co, Ningbo Zhejiang 315012)

Abstract: The treatment and discharge of wastewater from natural rubber processing was an urgent practical problem to be solved in the natural rubber processing industry. It had high production application value to explore the fermentation effect of different bacterial agents on wastewater from natural rubber processing and utilize them resourcefully. In this study, four different treatments of natural rubber wastewater i.e. without adding bacteria, adding *Bacillus subtilis*, adding *Actinomycetes*, adding *Aspergillus niger* and a control group of clear water and compound fertilizer were set up, and a pot experiments was conducted to further study the impact of different fermentation liquids on the growth, quality and physical and chemical properties of Pak Choi. The results showed that the fermentation effect of adding *Aspergillus niger* was the best, followed by *Bacillus* and *Actinomycetes*. Different treatments of fermentation liquid irrigation had good effects on the growth quality of Chinese cabbage, of which the effect of adding *Aspergillus niger* and actinomycetes fermentation was the best, followed by adding *bacillus*. The soil porosity increased with the addition of microbial agents, and the average value was 1.76% higher than that of the water control. The addition of *Aspergillus niger* fermentation broth had the highest increase in soil porosity. Compared with the water control, the soil pH and organic matter content increased by 0.33% and 19.2%, respectively, after irrigation with *Aspergillus niger* fermentation broth. To sum up, adding *Aspergillus niger* has the best effect on the growth and quality of Chinese cabbage and has no effect on soil porosity.

Key words: natural rubber processing wastewater; fermentation; Chinese cabbage; quality; soil