植物营养与肥料学报 2012,18(6):1466-1474
Plant Nutrition and Fertilizer Science

# 发酵时间对有机物料发酵流体成分含量变化及对连作苹果生物量的影响

孙海兵,胡艳丽,陈学森,毛志泉*
(山东农业大学园艺科学与工程学院/作物生物学国家重点实验室,山东泰安 271018)

**摘要:** 为探明不同季节不同发酵时间有机物料发酵流体成分含量变化及其对连作苹果生物量的影响,本研究选择富士/八棱海棠二年生嫁接苗为试材,设置季节(春、夏、秋)和发酵时间(30 d、45 d、60 d)两个因素,共9个处理,盆栽条件下对发酵流体成分含量与连作苹果幼树生长间的关联进行了研究。结果表明,有机物料发酵流体可以减轻苹果连作障碍,与对照相比,施入春、夏、秋分别发酵60 d、45 d、45 d的发酵流体的植株干重分别增加了22.42%、22.82%和19.63%。从总体上看,测定范围内夏、秋季处理发酵流体相关成分平均含量大于春季处理,同时随着发酵时间的延长发酵流体相关成分含量有增大的趋势。其中春季发酵60 d、夏季和秋季发酵45 d发酵流体相关成分含量最高,且对促进连作苹果幼树株高、地茎、鲜重及干重增加的影响最大。在发酵流体相关成分中与苹果幼树生长相关性最大的为细胞分裂素(6BA)、维生素B12(VB12)、苹果酸、氨基酸和乙酸,与植株干重的相关系数分别为0.65、0.81、0.53、0.51和-0.5。

**关键词:** 发酵流体;发酵时间;连作苹果
**中图分类号:** S141;S661.1.60　　**文献标识码:** A　　**文章编号:** 1008-505X(2012)06-1466-09

# Effects of fermentation time on contents of organic matter fermentation fluid ingredients and apple biomass

SUN Hai-bing, HU Yan-li, CHEN Xue-sen, MAO Zhi-quan*
(*College of Horticulture Science and Engineering, Shandong Agricultural University/ State Key Laboratory of Crop Biology, Tai'an, Shandong 271018, China*)

**Abstract:** To clarify the fermentation time on the changes of the fermentation fluid ingredients in different seasons and the growth of replant apple plants, the relationship between the fermentation fluid ingredient contents and the replant apple growth was studied with condition of 3 levels fermentation seasons (spring, summer and autumn) and 3 levels fermentation time (30 d, 45 d and 60 d). The Fuji/Malus robusta biennial grafted seedlings were selected as the tested material. The results show that the fermentation fluid could alleviate the effect of replant obstacle on apple trees. Compared with the CK, the plant dry weights in the treatments of 60 d in spring, 45 d in summer, 45 d in autumn are increased 22.42%, 22.82% and 19.63% respectively. On the whole, the fermentation fluid ingredient contents of the summer and autumn treatments are higher than those of the spring treatments. The fermentation fluid ingredient contents are increased with the increase of the fermentation time. The treatments with most obvious changes of the fermentation fluid ingredient contents and great impact on replant apple biomass are 60 d, 45 d and 45 d in spring, summer and autumn respectively. The ingredients with the maximum correlations with the growth of apple trees are cytokinin(6BA), vitamin(VB12), Malic acid, amino acid and acetic, and the

**收稿日期:** 2012-04-11　　**接受日期:** 2012-06-24
**基金项目:** 现代农业产业技术体系建设专项资金(CARS-28);山东省农业重大应用技术创新课题资助。
**作者简介:** 孙海兵(1983—),男,山东沂水人,硕士研究生,主要从事果园土壤环境调控方面的研究。E-mail: haibingsun1984@163.com
*通讯作者 Tel: 0538-8241984, E-mail: mzhiquan@sdau.edu.cn

correlation coefficients with plant dry weight are 0.65, 0.81, 0.53, 0.51 and −0.50 respectively.

**Key words**: fermentation fluid; fermentation time; replant apple

苹果连作障碍也称苹果再植病(Apple replant disease, ARD),苹果连作时常表现为根系不健康,树势弱,生长量小,园片不整齐,病虫害严重,最终导致产量降低,品质变劣[1-2],给生产带来巨大损失。不同地区引起苹果再植病的原因复杂[3-4],一般认为土壤理化性状恶化[5],微生物群落改变使多样性水平降低,病原拮抗菌减少[6-7],土壤线虫以及果树分泌的自毒物质[8-9]等是造成土壤连作障碍的重要因素。但也有研究表明,土壤线虫并不是引起土壤连作障碍的决定因素[10]。Schoor 等[11]的试验发现,通过不同比例的消毒稀释再植果树的土壤,并未发现线虫数量与再植土壤比例稳定相关。

土壤中直接施入有机物料,可以减轻土壤连作障碍程度[12-14]。发酵流体是禽畜粪便等有机物料经厌氧发酵后的产物,是一种优质的有机肥料[15],Allan 等[16]对比了沼肥、生粪和化肥在供氮量相同的条件下对土壤肥力的影响,结果表明,沼肥可明显增加土壤有效氮含量。Milked 等[17]研究发现,利用沼液处理的土壤 pH 值稳定,有机质和全氮含量增幅明显,磷的有效性显著提高。有机物料的厌氧发酵液体含有大量营养元素和其他化学物质[18-20],从而有利于植物的生长。而针对有机物料防治连作障碍的研究皆集中于直接施用或堆肥腐熟后施入,用有机物料发酵流体防治苹果连作障碍,特别是不同季节、不同发酵时间其成分含量变化及对连作苹果的影响尚未见报道。因此,本研究以二年生苹果嫁接苗为试材,探讨春、夏、秋三季连作条件下施入发酵不同时间有机物料的发酵流体对连作苹果生物量影响的机理,为生产中采用适宜的有机物料形态防治苹果连作障碍提供依据。

## 1　材料与方法

### 1.1　试验材料

以富士/八棱海棠二年生嫁接苗为试材。试验用连作土取自 20 年生富士苹果园,土壤类型为褐土。取树干周围 100 cm,深 5—60 cm 范围内的土壤,随机取样,混匀备用。试验用有机物料为鸡粪、羊粪、牛粪和秸秆,充分混匀。

### 1.2　试验方法

试验于 2009 年至 2010 年在山东泰安郊区红庙村进行。2010 年 3 月底将高度 150 cm 左右的两年生苹果嫁接苗移栽至泥瓦盆中,盆口直径为 35 cm,盆底直径为 29 cm,盆高 30 cm,每盆装土 17 kg。

将鸡粪、牛粪、羊粪、秸秆中较大杂物和颗粒去除,按 6∶1∶1∶2 比例混合,装入白色塑料桶,之后桶内注水至淹没有机物料混合物并覆盖塑料薄膜进行厌氧发酵。在春、夏、秋三季分别把混合有机物料放入 3 个桶内厌氧发酵,3 个桶对应的发酵时间分别是 30 d、45 d、60 d。通过调整发酵的起始时间保证不同发酵时间的流体在施入日期同时发酵完成。

发酵至试验设计天数后按发酵时间处理分别施入盆中(春、夏、秋施入发酵流体的时间分别为 5 月 20 日、7 月 20 日、10 月 20 日),每处理 40 盆。同时取发酵流体样品测定其成分,重复三次。不施入发酵流体的盆栽果树为对照,有机物料使用总量为盆土重量的 4%。发酵流体施入 20 d 时取样测量盆栽幼树株高、地茎和干鲜重。

发酵流体中铵态氮、硝态氮、速效磷和速效钾含量分别为 0.828 mg/kg、778.47 mg/kg、76.00 mg/kg 和 2345.00 mg/kg,每次浇灌发酵流体时,将与发酵流体中氮、磷、钾含量相当的营养液补充到对照中,以消除主要养分的影响。

### 1.3　测定方法

常规法测量株高、地茎、干鲜重。

发酵流体中的氨基酸测定用茚三酮法[21];激素用高效液相色谱法测定[22];B 族维生素用高效液相色谱法测定[23];有机酸用高效液相色谱法测定[24];pH 值用酸度计测定。

数据利用 SPSS19.0 进行统计分析。

## 2　结果与分析

### 2.1　发酵时间对有机物料发酵流体成分含量变化的影响

2.1.1 激素含量的变化　由表 1 可以看出,在不同的季节进行发酵处理,不同激素含量间存在差异。

吲哚乙酸(IAA)、脱落酸(ABA)季节平均含量为秋季 > 夏季 > 春季；赤霉素(GA)、细胞分裂素(6BA)平均含量夏季最大,春季与秋季差异不显著；生长素(IBA)含量秋季最大。

季节处理间 IAA、6BA、IBA 含量差异达极显著水平。而其它激素季节间处理差异均不显著。不同发酵时间处理间 GA、6BA、IBA 含量差异达显著水平。随着发酵时间的增大,6BA 含量有逐渐增加的趋势,最大值出现在夏季。而 ABA 含量则呈现有规律的先降低后升高的趋势,60 d 处理的含量最大,最大值出现在秋季处理中。而玉米素(ZT)、GA、IAA、IBA 则无明显的变化规律。

由表1还可看出,在春、夏、秋季分别发酵不同时间,有机物料发酵流体中的激素含量变化显著,其中 GA 与6BA 含量的变化趋势具有整体一致性,在不同季节随发酵时间的延长,其含量呈递增的趋势,且春、夏、秋不同处理间的差异性不明显。在春、夏、秋三个发酵季节,与 30 d 处理相比,45 d 处理的 6BA 含量增长率分别为 21.3%、48.2%、34.6%,60 d 处理比 45 d 处理,增长率分别为 19.5%、11.6%、7.2%。在不同季节相同发酵时间,6BA 的含量变化也较明显,夏季 30 d、45 d、60 d 处理中 6BA 的含量分别比相应的春季高 0.87、1.87、1.88 mg/kg。秋季 30 d、45 d、60 d 处理中 6BA 的含量分别比相应的春季高 0.53、1.00、0.75 mg/kg。ZT、IAA、ABA、IBA 随发酵时间其含量变化的规律性不明显。

**表1 发酵流体中激素含量的变化(mg/kg)**

**Table 1 Changes of the contents of hormone in the fermented fluid**

| 季节 Season | 发酵时间(d) Fermentation time | ZT | GA | IAA | 6BA | ABA | IBA |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 春 Spring | 30 | 1.24 ±0.18 cde | 2.61 ±0.22 f | 7.92 ±0.25 c | 2.16 ±0.02 f | 0.08 ±0.12 bc | 3.84 ±0.27 g |
| | 45 | 1.04 ±0.02 e | 4.58 ±0.12 d | 2.55 ±0.04 f | 2.62 ±0.02 e | 0.02 ±0.23 c | 4.77 ±0.048 f |
| | 60 | 1.49 ±0.12 bc | 3.49 ±0.02 e | 7.69 ±0.03 c | 3.13 ±0.18 d | 0.27 ±0.08 bc | 17.57 ±0.29 a |
| 夏 Summer | 30 | 1.13 ±0.02 de | 5.26 ±0.14 cd | 5.79 ±0.21 d | 3.03 ±0.04 d | 0.36 ±0.32 bc | 11.06 ±0.03 d |
| | 45 | 1.63 ±0.23 b | 9.35 ±0.5 a | 6.36 ±0.23 d | 4.49 ±0.06 b | 0.21 ±0.05 bc | 0.37 ±0.08 h |
| | 60 | 0.51 ±0.02 f | 6.01 ±0.23 b | 3.83 ±0.52 e | 5.01 ±0.18 a | 0.50 ±0.03 ab | 4.72 ±0.63 f |
| 秋 Autumn | 30 | 1.11 ±0.07 de | 3.48 ±0.2 e | 9.79 ±0.28 b | 2.69 ±0.13 e | 0.44 ±0.06 abc | 5.73 ±0.06 e |
| | 45 | 1.40 ±0.14 cd | 2.45 ±0.34 f | 14.40 ±0.02 a | 3.62 ±0.02 c | 0.18 ±0.28 bc | 16.64 ±0.26 b |
| | 60 | 3.36 ±0.06 a | 5.36 ±0.05 bc | 9.56 ±0.22 b | 3.88 ±0.06 c | 0.79 ±0.22 a | 13.44 ±0.42 c |

注(Note)：ZT—玉米素 Zeatin；GA—赤霉素 Gibberellin；IAA—吲哚乙酸 Heteroauxing；6BA—细胞分裂素 Cytokinin；ABA—脱落酸 Abscisic acid；IBA—生长素 Auxin. 同列数据后不同字母表示差异达5%显著水平 Values followed by different letters in a column are significant at the 5% level.

2.1.2 有机酸及挥发性脂肪酸含量的变化 总体上看,除苹果酸外,不同季节处理间有机酸含量有显著差异。草酸的高值出现在夏季,苹果酸含量的高值出现在夏秋季,而酒石酸、乳酸、柠檬酸、琥珀酸含量的高值出现在春秋两季,夏季处理的含量非常少。

由表2可以看出,在夏、秋两季草酸、酒石酸、柠檬酸含量均呈现随发酵时间的增加而增大的趋势,但在春季处理中规律不稳定。苹果酸在不同季节随发酵时间的增加,其含量均呈现增大趋势。

表3显示,有机物料发酵流体挥发性脂肪酸含量相对较少,且季节处理间,不同挥发性脂肪酸含量差异不显著。乙酸在不同季节随发酵时间的变化其含量呈递增趋势。春、夏、秋 30 d 到 45 d,乙酸增长率分别为 357.1%、121.6%、46.7%,45 d 到 60 d 处理,增长率分别为 353.1%、10.9%、93.2%。在不同季节相同发酵时间,乙酸含量变化也较明显,夏季 30 d、45 d、60 d 处理中乙酸含量分别比相应的春季高 0.67、1.32、0.37 mg/kg。在三个发酵季节中 45 d 处理的丁酸含量均显著高于 30 d 与 60 d 处理,30 d 与 60 d 处理差异不显著。而丙酸含量

表 2　发酵流体中有机酸含量的变化(mg/kg)

Table 2　Changes of the contents of organic acids in the fermented fluid

| 季节 Season | 发酵时间(d) Fermentation time | 草酸 Oxalic acid | 酒石酸 Tartaric acid | 苹果酸 Malic acid | 乳酸 Lactic acid | 柠檬酸 Citric acid | 琥珀酸 Butanedioic acid |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 春 Spring | 30 | 5.81 ±0.05 h | 1.34 ±0.08 g | 4.71 ±0.16 e | 0.11 ±0.01 c | 1.05 ±0.09 e | 0.22 ±0.08 e |
| | 45 | 11.40 ±0.13 e | 20.40 ±0.32 a | 5.92 ±0.22 d | 9.94 ±0.16 a | 10.95 ±0.38 a | 13.35 ±0.37 a |
| | 60 | 10.32 ±0.25 f | 13.70 ±0.12 b | 8.31 ±0.38 b | 9.88 ±0.11 a | 3.40 ±0.15 c | 0.84 ±0.17 d |
| 夏 Summer | 30 | 18.34 ±0.29 c | 1.77 ±0.07 g | 6.90 ±0.17 c | 0.73 ±0.18 b | 0.09 ±0.06 f | 0.37 ±0.11 e |
| | 45 | 26.25 ±0.38 b | 2.17 ±0.02 f | 8.45 ±0.21 b | 0.20 ±0.05 c | 0.03 ±0.01 f | 0.08 ±0.08 e |
| | 60 | 29.55 ±0.45 a | 2.93 ±0.15 e | 8.58 ±0.19 b | 0.19 ±0.09 c | 0.04 ±0.02 f | 0.03 ±0.02 e |
| 秋 Autumn | 30 | 8.93 ±0.17 g | 6.49 ±0.23 d | 5.45 ±0.26 d | 0.50 ±0.07 bc | 0.24 ±0.06 f | 0.24 ±0.05 e |
| | 45 | 9.83 ±0.24 f | 11.20 ±0.29 c | 8.95 ±0.11 b | 0.79 ±0.11 b | 1.85 ±0.18 d | 3.73 ±0.13 c |
| | 60 | 12.62 ±0.18 d | 20.54 ±0.41 a | 10.92 ±0.39 a | 10.16 ±0.28 a | 7.76 ±0.23 b | 4.80 ±0.26 b |

注(Note)：同列数据后不同字母表示差异达 5% 显著水平 Values followed by different letters in a column are significant at the 5% level.

表 3　发酵流体中挥发性脂肪酸含量的变化(mg/kg)

Table 3　Changes of the contents of volatile fatty acids in the fermented fluid

| 季节 Season | 发酵时间(d) Fermentation time | 乙酸 Acetic | 丙酸 Propionic acid | 丁酸 Butyrate |
|---|---|---|---|---|
| 春 Spring | 30 | 0.07 ±0.03 e | 0.03 ±0.01 c | 0.39 ±0.11 e |
| | 45 | 0.32 ±0.01 de | 0.93 ±0.16 a | 1.99 ±0.17 b |
| | 60 | 1.45 ±0.08 b | 0.06 ±0.02 c | 0.46 ±0.13 de |
| 夏 Summer | 30 | 0.74 ±0.08 c | 0.02 ±0.01 c | 0.88 ±0.31 cd |
| | 45 | 1.64 ±0.11 ab | 0.44 ±0.06 b | 4.27 ±0.25 a |
| | 60 | 1.82 ±0.13 a | 0.01 ±0.01 c | 0.38 ±0.15 e |
| 秋 Autumn | 30 | 0.60 ±0.02 cd | 0.12 ±0.02 c | 0.06 ±0.03 e |
| | 45 | 0.88 ±0.14 c | 0.01 ±0.01 c | 1.17 ±0.09 c |
| | 60 | 1.70 ±0.23 ab | 0.01 ±0.01 c | 0.01 ±0.01 e |

注(Note)：同列数据后不同字母表示差异达 5% 显著水平 Values followed by different letters in a column are significant at the 5% level.

随时间变化呈现不明显的规律。

2.1.3 B 族维生素含量的变化　由表 4 可知,发酵季节处理间,各 B 族维生素的含量差异均达到显著水平。从平均含量看,夏、秋季处理明显高于春季处理,秋季 30 d、45 d、60 d 处理中维生素 B12(VB12)的含量分别比相应的春季高 0.25、1.53、0.43 mg/kg。总体上看,随着发酵时间的增大,B 族维生素的含量有增加的趋势,但秋季处理不明显。不同季节维生素 B12(VB12)随着发酵时间延长,其含量呈递增趋势,但递增幅度大小有明显差异。春、夏、秋季发酵 30 d 到 45 d,VB12 的含量增长率分别为 1.9 %、193.8 %、98.5 %,45 d 到 60 d,增长率分别为 118.3%、5.6%、7.3%, 但夏、秋两季 45 d、60 d 处理间差异不显著。

2.1.4 氨基酸含量的变化　由图 1 可以看出,在不同季节随发酵时间的延长,有机物料发酵流体氨基酸含量均呈现增加的趋势。在不同季节,45 d、60 d 处理氨基酸含量明显大于 30 d 处理,且夏秋两季 45 d、60 d 处理间差异不显著。春、夏、秋 30 d 到 45 d 处理,氨基酸总量增长率分别为 57.6%、113.5%、

表4 发酵流体中B族维生素含量的变化(mg/kg)

Table 4 Changes of the contents of vitamin B in the fermented fluid

| 季节 Season | 发酵时间(d) Fermentation time | 维生素B5 VB5 | 维生素PP VPP | 维生素B6 VB6 | 维生素B1 VB1 | 维生素B2 VB2 | 维生素B12 VB12 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 春 Spring | 30 | 9.87±0.13 a | 8.19±0.16 d | 12.4±0.14 h | 3.29±0.06 h | 3.03±0.01d | 1.07±0.08 e |
| | 45 | 7.89±0.05 c | 25.55±0.07 b | 33.5±0.12 c | 12.51±0.13 d | 5.02±0.13 b | 1.09±0.03 e |
| | 60 | 1.24±0.07 g | 16.51±0.06 c | 20.8±0.16 g | 8.73±0.06 e | 2.21±0.06 e | 2.38±0.02 c |
| 夏 Summer | 30 | 0.48±0.15 h | 0.08±0.03 i | 32.3±0.07 d | 4.14±0.07 g | 0.72±0.02 h | 0.97±0.05 e |
| | 45 | 5.88±0.03 e | 1.84±0.09 g | 30.2±0.15 f | 18.65±0.14 c | 0.38±0.04 i | 2.85±0.03 a |
| | 60 | 9.54±0.05 b | 63.93±0.36 a | 35.9±0.22 b | 44.02±0.15 a | 25.40±0.18 a | 3.01±0.11 a |
| 秋 Autumn | 30 | 1.71±0.16 f | 1.31±0.15 h | 33.6±0.15 c | 5.38±0.06 f | 1.95±0.07 f | 1.32±0.07 d |
| | 45 | 7.11±0.08 d | 3.08±0.23 f | 31.4±0.09 e | 19.89±0.09 b | 1.61±0.04 g | 2.62±0.09 b |
| | 60 | 5.77±0.13 e | 7.62±0.12 e | 37.1±0.05 a | 5.26±0.03 f | 3.65±0.05 c | 2.81±0.14 ab |

注(Note): VB5—Vitamin B5; VPP—Vitamin PP; VB6—Vitamin B6; VB1—Vitamin B1; VB2—Vitamin B2; VB12—Vitamin B12. 同列数据后不同字母表示差异达5%显著水平 Values followed by different letters in a column are significant at the 5% level.

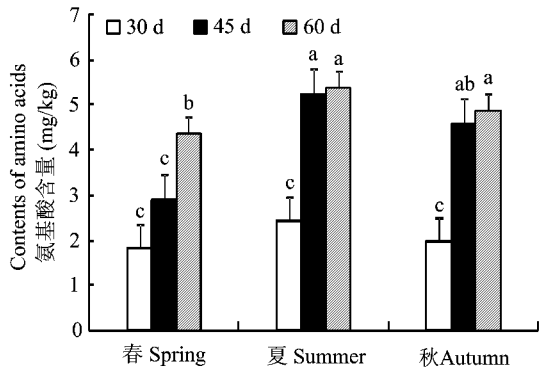


图1 发酵流体中氨基酸含量的变化

Fig.1 Changes of the contents of amino acids in the fermented fluid

[注(Note): 柱上不同字母分别表示处理间差异达5%显著水平 Different letters above the bars mean significant at the 5% level.]

128.7%,45 d到60 d增长率分别为50.6%、2.7%、6.8%。

### 2.2 发酵流体主要成分与连作苹果幼树干重及鲜重相关性分析

有机物料发酵流体中激素、B族维生素、有机酸、氨基酸和挥发性脂肪酸中与连作苹果幼树生物量相关性达到显著水平的为6BA、VB12、苹果酸、氨基酸和乙酸(表5),其中6BA、VB12、苹果酸和氨基酸与植株生物量呈正相关;而乙酸与植株的生物量呈负相关。

### 2.3 发酵流体对连作苹果幼树生物量的影响

由表6可以看出,与对照相比,经发酵流体处理后苹果株高、地茎、鲜重及干重增长量、增长率均有较大幅度增加。季节处理间,株高、鲜重、干重差异均呈显著水平,且夏秋季增长量明显大于春季处理,但不同处理间地茎增长量差异不明显。从平均增长量来看,夏季处理的株高要高于秋季处理,地茎、鲜重、干重的增长量则是秋季处理略大于夏季处理。

发酵时间处理间,鲜重与干重差异均达到显著水平,但地茎差异不显著,对株高而言,30 d处理与45 d、60 d处理间差异达显著水平,但45 d与60 d处理间差异不显著。随着发酵时间的增加,株高、地茎、鲜重及干重增长量均呈增大趋势。在春季处理中,趋势尤为明显且60 d处理增加幅度较30 d和45 d相比尤为显著,株高、地茎、鲜重、干重与对照相比增长率分别为17.52%、5.37%、20.8%、22.42%。在夏季与秋季处理间,30 d与45 d、60 d间有显著差异,但45 d与60 d处理间规律不明显,总体来看,45 d处理增长量及增长率高于60 d处理。

## 3 讨论

有机物料的厌氧发酵产物是一种速效和缓效兼备的优质有机肥料,作为一种农业生产资料,可部分代替化肥和农药[25]。发酵流体内除了含有丰富的

表 5　发酵流体主要成分与连作苹果干重和鲜重的相关性分析

Table 5　The main ingredients of fermented fluid with the correlation analysis of replant apple dry weight and fresh weight

| 激素 Hormone | 干重 Dry weight | 鲜重 Fresh weight | 维生素 B Vitamin B | 干重 Dry weight | 鲜重 Fresh weight |
|---|---|---|---|---|---|
| ZT | 0.40 | 0.45 | VB5 | 0.01 | 0.08 |
| GA | 0.28 | 0.34 | VPP | -0.12 | -0.08 |
| IAA | 0.34 | 0.35 | VB6 | 0.4 | 0.36 |
| 6BA | 0.65* | 0.57* | VB1 | 0.44 | 0.42 |
| ABA | -0.06 | -0.24 | VB2 | 0.11 | 0.17 |
| IBA | 0.46 | 0.44 | VB12 | 0.81** | 0.77** |
| **有机酸 Organic acids** | **干重 Dry weight** | **鲜重 Fresh weight** | **挥发性酸 Volatile fatty acids** | **干重 Dry weight** | **鲜重 Fresh weight** |
| 草酸 Oxalic acid | 0.28 | 0.37 | 乙酸 Acetic | -0.5* | -0.38 |
| 酒石酸 Tartaric acid | 0.31 | 0.34 | 丙酸 Propionic acid | -0.09 | -0.12 |
| 苹果酸 Malic acid | 0.53* | 0.49* | 丁酸 Butyrate | -0.07 | -0.05 |
| 乳酸 Lactic acid | -0.03 | -0.02 | 氨基酸 Amino acid | 0.51* | 0.38 |
| 柠檬酸 Citric acid | 0.24 | 0.03 | | | |
| 琥珀酸 Butanedioic acid | 0.19 | 0.07 | | | |

注(Note)：ZT—玉米素 Zeatin；GA—赤霉素 Gibberellin；IAA—吲哚乙酸 Heteroauxing；6BA—细胞分裂素 Cytokinin；ABA—脱落酸 Abscisic acid；IBA—生长素 Auxin. VB5—Vitamin B5；VPP—Vitamin PP；VB6—Vitamin B6；VB1—Vitamin B1；VB2—Vitamin B2；VB12—Vitamin B12. *，** 分别表示在 0.05 和 0.01 水平上相关性显著 Indicate significant correlations at the 0.05 and 0.01 levels, respectively.

氮、磷、钾等元素外,还含有对植物生长有调控作用的氨基酸、生长素、B 族维生素、有机酸等生物活性物质[18-20],对果树生长发育具有重要的调控作用,并且参与了果树生长发育的全过程。如赤霉素可刺激果树早发芽和枝、叶快速生长；生长素提高发芽率,有效防止落花、落果,提高坐果率；细胞分裂素可促进细胞分裂的加快进行,促进植株的生长；某些核酸可增加果树的抗旱能力,游离氨基酸、不饱和脂肪酸可使果树在低温时免受冻害[26]。谢镜明[27]通过生态试验研究发现,维生素 B1、B12 有促进赤潮生物生长繁殖的作用,不同的藻类对于维生素 B1、B12 有不同相关性。Ford[28]也证明,鞭金藻细胞分裂速度取决于 VB1 的浓度,VB12 对促进球等鞭金藻的生长有效果明显。在有机物料的春季发酵流体中,随着发酵时间的延长其主要成分呈递增趋势,同时经相应处理的苹果嫁接苗的生物量同样呈递增趋势。厌氧发酵其实质是微生物的自身物质代谢和能量代谢的化学变化过程,而温度影响微生物的活动[29],进一步影响厌氧发酵的进程[30]。在春季处理中,三个发酵时间处理的流体温度可能在适合微生物的生长及其本身的物质代谢的温度范围内,因此 60 d 处理发酵流体内各主要成分达到最大值,从而对植株生长的促进作用最为明显。在夏、秋两季 30 d 到 45 d 处理发酵流体内主要成分呈现出明显的递增现象,而从整体上看,45 d 到 60 d 处理各成分的变化趋势不明显。在夏、秋两季温度较春季明显升高,所以在发酵同等时间条件下,在夏、秋季节微生物自身物质代谢可能加快,从而加速了有机物料的厌氧发酵进程,因此在 45 d 处理时就达到某一极值。微生物在最优温度范围内其生长活性随温度的升高而增加,超出最优温度范围,其活性随着温度的升高而降低[29]。在夏、秋两季 45 d 处理与 60 d 处理相比,发酵罐内的温度高且持续时间长,可能超出微生物生长活性的最适温度,使其自身代谢能力减慢,从而使发酵流体内成分变化幅度减小,对植物生长的促进作用也相对减弱。同时夏秋季节随着发酵时间的延长,乙酸的含量增长幅度明显,可能在 60 d 时乙酸的浓度相对过高,从而抑制了植物的生长[31]。所以综合其发酵时间的长短及对植株生长改善程度,在夏、秋两季最佳发酵时间为 45 d。

**表6 发酵流体对连作苹果生物量的影响**

**Table 6 Effects of fermentation fluid on biomass of replant apple**

| 季节 Season | 发酵时间 Fermentation time (d) | 株高 Plant height | | 地茎 Geoxyl | | 鲜重 Fresh weight | | 干重 Dry weight | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 增长量 Increase (cm/plant) | 增长率 Increase rate (%) | 增长量 Increase (cm/plant) | 增长率 Increase rate (%) | 增长量 Increase (cm/plant) | 增长率 Increase rate (%) | 增长量 Increase (cm/plant) | 增长率 Increase rate (%) |
| 春 Spring | 30 | 4.57 ±0.92 f | 9.14 | 0.083 ±0.002 ab | 4.22 | 9.67 ±0.004 e | 13.40 | 4.52 ±0.022 i | 10.23 |
| | 45 | 6.32 ±0.004 ef | 13.80 | 0.096 ±0.014 a | 4.28 | 17.92 ±0.02 c | 18.32 | 9.66 ±0.03 g | 12.87 |
| | 60 | 11.28 ±0.03 d | 17.52 | 0.102 ±0.022 a | 5.37 | 20.58 ±0.13 a | 20.80 | 24.43 ±0.04 a | 22.42 |
| 夏 Summer | 30 | 7.55 ±0.77 e | 10.48 | 0.040 ±0.005 c | 3.88 | 5.30 ±0.026 g | 8.34 | 7.03 ±0.006 h | 9.80 |
| | 45 | 23.80 ±0.08 a | 21.33 | 0.048 ±0.022 bc | 3.36 | 19.32 ±0.16 b | 23.87 | 22.84 ±0.07 b | 22.82 |
| | 60 | 18.52 ±0.21 b | 18.46 | 0.062 ±0.013 abc | 4.08 | 15.66 ±0.24 d | 14.73 | 17.03 ±0.04 e | 19.24 |
| 秋 Autumn | 30 | 6.34 ±0.88 ef | 8.77 | 0.045 ±0.002 bc | 6.08 | 8.52 ±0.009 f | 10.35 | 13.20 ±0.002 f | 9.22 |
| | 45 | 16.63 ±0.69 c | 18.37 | 0.063 ±0.013 abc | 7.23 | 17.93 ±0.01 c | 16.44 | 20.40 ±0.003 c | 19.63 |
| | 60 | 15.55 ±0.90 c | 15.82 | 0.046 ±0.02 bc | 5.38 | 19.64 ±0.12 b | 17.74 | 17.44 ±0.04 d | 16.20 |

注(Note)：同列数据后不同字母表示差异达5%显著水平 Values followed by different letters in a column are significant at the 5% level.

## 4 结论

有机物料发酵流体可减轻苹果连作障碍,促进植株的生长。不同季节不同发酵时间的发酵流体对植株生长的影响有较大差异,夏秋季发酵处理好于春季处理。本试验条件下春、夏、秋对植物生长促进最明显的发酵时间分别为60 d、45 d、45 d。

**参 考 文 献：**


[1] Jaffee B A, Abawi G S, Mai W F. Role of soil microflora and Praty-lenchus penetrans in an apple replant disease [J]. Phytopathology, 1982, 72: 247-251.

[2] Szczygiel A, Zepp A L. An occurrence and importance of apple replant disease in Polish orchards[J]. Acta Hort., 1998, 477: 99-106.

[3] Couey R P, Benson N R, Haglund W A. Effect of soilfumigation on apple replant disease in Washington [J]. Phytopathology, 1979, 69: 684-686.

[4] Traquair J A. Etiology and control of orchard replant problem: a review[J]. Can. J. Plant Pathol., 2002, 6: 55-62.

[5] 吴凤芝，赵凤艳. 根系分泌物与连作障碍[J]. 东北农业大学学报, 2003, 34(1): 114-118.
Wu F Z, Zhao F Y. Study on root exudates and continues cropping obstacle[J]. J. Northeast Agric. Univ., 2003, 31(3): 241-247.

[6] Mithofer A. Suppression of plant defence in rhizobia legume symbiosis[J]. Trends Plant Sci., 2002, 7(10): 440-444.

[7] Yang C H, Crowley D E, Menge J A. 16S rDNA fingerprinting of rhizosphere bacterial communities associated with healthy and phytophora infected avocadotoots [J]. FEMS Microbiol. Ecol., 2001, 35(2): 129-136.

[8] Blum U, Shafer S R, Lehmen M E. Evidence for inhibitory allelopathic interactions involving phenolicacids in field soils Concepts vs an experimental model [J]. Crit. Rev. Plant Sci., 1999, 18(5): 673-693.

[9] Yu J Q, Mstsui Y. Effect of root exudates of cucumber (Cucum is sativus) and allelochemicals on ion uptake by cucumber seedlings [J]. J. Chem. Ecol., 1997, 23(3): 817-827.

[10] 杨树泉，沈向，毛志泉，等. 环渤海湾苹果产区老果园与连作园土壤线虫群落特征[J]. 生态学报, 2010, 30(16): 4445-4451.
Yang S Q, Shen X, Mao Z Q *et al*. Characterization of nematode communities in the soil of long-standing versus replanted apple orchards surrounding Bohai Gulf [J]. Acta Ecol. Sin., 2010, 30(16): 4445-4451.

[11] Schoor L, Denman S, Cook N C. Characterisation of apple replant disease under South African conditions and potential biological management strategies[J]. Sci. Hortic., 2009, 119(2): 153-162.

[12] 喻景权，杜尧舜. 蔬菜设施栽培可持续发展中的连作障碍问题[J]. 沈阳农业大学学报, 2000, 31(1): 124-126.
Yu J Q, Du Y S. Soil-sickness problem in the sustainable development for the protected production of vegetables[J]. J. Shenyang Agric. Univ., 2000, 31(1): 124-126.

[13] 吕卫光，张春兰，袁飞，等. 有机肥减轻连作对黄瓜自毒作用的机制[J]. 上海农业学报, 2002, 18(2): 52-56.
Liu W G, Zhang C L, Yuan F *et al*. Mechanism of organic manure relieving the autotoxicity to continuous cropping cucumber [J]. Acta Agric. Shanghai, 2002, 18(2): 52-56.

[14] Qin W, Egolfopoulos F N, Tsotsis T T. Fundamental and environmental aspects of land fill gas utilization for power generation[J]. Chem. Eng. J., 2001, 82(2): 157-172.

[15] Allan D, Katovich E, Nelson C. Fertilizer value and weed seed destruction potential of digested manure [R]. Raleigh, North Carolina: Anaerobic digester technology ppplications in anmial agriculture: A national summit, 2003, June 2-4.

[16] Mikled C, Jiraporncharoen S, Potikanond N. Utilization of fermented slurry as bio-fertilizer [Z]. Thailand: Proceeding Biodigester Workshop, 2002.

[17] 王远远，刘荣厚. 沼液综合利用研究进展[J]. 安徽农业科学, 2007, 35(4): 1089-1091.
Wang Y Y, Liu R H. Progress of comprehensive utilization of biogas slurry[J]. J. Anhui Agric. Sci., 2007, 35(4): 1089-1091.

[18] 王慧霞，张坐省. 沼液中的化学物质及在农业生产上的应用[J]. 陕西农业科学, 2006, (3): 89-91.
Wang H X, Zhang Z S. Chemicals and utilizing in agricultural production of bioqas liquid[J]. Shaanxi J. Agric. Sci., 2006, (3): 89-91.

[19] 郭强，柴晓利，程海静，等. 沼液的综合利用[J]. 再生资源研究, 2005, (6): 37-41.
Guo Q, Chai X L, Cheng H J *et al*. Comprehensive utilizing of biogas liquid residue[J]. Recycl. Res., 2005, (6): 37-41.

[20] 陈顺友. 追施不同浓度发酵流体对辣椒产量的影响[J]. 贵州农业科学, 2005, 33(3): 53-54.
Chen S Y. Effect of applying methane pit liquid for top dressing on yield of hot pepper[J]. Guizhou Agric. Sci., 2005, 33(3): 53-54.

[21] 黄伟坤. 食品检验与分析[M]. 北京：中国轻工业出版社, 1997. 58-60.
Huang W K. Food analysis and examination[M]. Beijing: China Light Industry Press, 1997. 58-60.

[22] 胡佩，杨红，刘德辉，等. 高效液相色谱法测定蚓粪中的植物激素[J]. 分析实验室, 2001, (11): 6.
Hu P, Yang H, Liu D H *et al*. Determination of plant growth hormoms in earthworm casts by high performance liquid chromatography[J]. Chin. Anal. Lab., 2001, (11): 6.

[23] 郭兴会，王丽丽，仪宏. HPLC 法有效测定发酵液中维生素 B12 的含量[J]. 中国食品添加剂, 2009, (1): 52-56.
Guo X H, Wang L L, Yi H. The determination of vitamin B12 in fermentation broth by high performance liquid chromatography [J]. China Food Add., 2009, (1): 52-56.

[24] 牟英，王元好，修志龙，等. 高效液相色谱法测定1，3-丙二醇发酵液中的有机酸[J]. 分析化学研究简报，2006，(9)：S183-S186.
Mo Y, Wang Y H, Xiu Z L *et al*. Determination of organic acids in 1, 3-propanedioi fermentation broth by reversed phase high performance liquid chromatography[J]. Chin. J. Anal. Chem., 2006, (9): S183-S186.

[25] 高德领. 农村沼气实用技术[M]. 香港：天马图书有限公司，2006.
Gao D L. Practical biogas technology in rural areas[M]. Hongkong: Tianma Books Ltd, 2006.

[26] 李建军，袁向前，马丽，等. 沼肥在果树生产中的综合应用[J]. 河南林业科技，2009，(29)：61-62，78.
Li J J. Yuan X Q, Ma L *et al*. Application of biogas fertilizer on fruit production[J]. Henan For. Sci. Technol., 2009, (29): 61-62, 78.

[27] 谢镜明. 大鹏湾维生素B1、B12与赤潮[J]. 生态学杂志，2000，19(4)：46-49.
Xie J M. Red Tide, vitamin B1 and B12 in dapeng bay[J]. Chin. J. Ecol., 2000, 19(4): 46-49.

[28] Ford J E. B12 - Vitamins and growth of the flagellate ochromonas malhamensis [J]. J. Gen. Microbiol., 1958, (19): 161-172.

[29] 傅金祥，宋奇，李璐. 温度对常温UASB运行的影响[J]. 沈阳建筑大学学报(自然科学版)，2007，(6)：9-4.
Fu J X, Song Q, Li L. Research on the influence of temperature on the operation of UASB[J]. J. Shenyang Jianzhu Univ. (Nat. Sci.), 2007, (6): 9-4.

[30] 任南琪，王爱杰. 厌氧生物技术原理与应用[M]. 北京：化学工业出版社，2004.
Ren N Q, Wang A J. Anaerobic biotechnology principles and applications[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2004.

[31] 张慧丽，曲力涛，李景文，等. 乙酸对小麦种子发芽的影响[J]. 吉林农业大学学报，2000，22(4)：15-17，22.
Zhang H L, Qu L T, Li J W *et al*. Effect of acetic acid on germination of wheat[J]. J. Jilin Agric. Univ., 2000, 22(4): 15-17, 22.