

尾菜发酵产物替代有机肥在设施黄瓜生产中的应用效果

闵梦月¹, 胡卫丛¹, 赵文瑜¹, 沈鑫^{1,2}, 吴旭东¹, 王蓓¹,
陈莉莉¹, 刘庆叶¹, 李伟明¹, 王东升¹

(1. 南京市蔬菜科学研究所 南京 210042; 2. 南京农业大学资源与环境科学学院 南京 210095)

摘要:为明确尾菜发酵产物能否替代商品有机肥促进植物生长,实现尾菜资源化利用,本研究以黄瓜为试材,研究尾菜发酵产物替代有机肥对设施黄瓜生长、产量、品质及土壤理化性质的影响。试验设置4个处理,分别为番茄+辣椒秸秆尾菜发酵产物替代商品有机肥(F+L处理)、番茄+玉米秸秆尾菜发酵产物替代商品有机肥(F+Y处理)、辣椒秸秆尾菜发酵产物替代商品有机肥(L处理)和商品有机肥对照(CK)。结果表明,L处理的株高(88.83 cm)、小区产量(137.13 kg·10 m⁻²)和果实可溶性糖含量(w,后同,127.10 mg·g⁻¹)较CK分别显著提高9.67%、18.76%和18.38%,硝酸盐含量(53.46 mg·kg⁻¹)显著降低31.17%。隶属函数综合评价显示,L处理下的黄瓜综合表现最优。冗余分析表明,土壤全磷和速效钾含量等养分指标是影响黄瓜生长、产量和品质的关键因子。综上,辣椒尾菜发酵产物能有效替代商品有机肥,在促进黄瓜生长、提高产量和改善品质方面综合效果最佳。

关键词:黄瓜;尾菜发酵产物;有机肥替代;产量与品质;土壤理化性质

中图分类号:S642.2

文献标志码:A

文章编号:1673-2871(2026)09-121-07

Effects of tail vegetable fermentation products replacing organic fertilizer on cucumber production in facility

Min Mengyue¹, Hu Weicong¹, Zhao Wenyu¹, Shen Xin^{1,2}, Wu Xudong¹, Wang Bei¹, Chen Lili¹, Liu Qingye¹,
Li Weiming¹, Wang Dongsheng¹

(1. Nanjing Institute of Vegetable Science, Nanjing 210042, Jiangsu, China; 2. College of Resources and Environmental Sciences, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, Jiangsu, China)

Abstract: To clarify whether tail vegetable fermentation products can replace commercial organic fertilizers to promote plant growth and achieve resource utilization of vegetable waste, this study used cucumber as the test material to investigate the effects of tail vegetable fermentation products replacing commercial organic fertilizer on the growth, yield, quality of cucumber and soil physicochemical property. Four treatments were set up: Tomato+pepper tail compost material replacing commercial organic fertilizer(F+L treatment), tomato+corn tail compost material replacing commercial organic fertilizer(F+Y treatment), pepper tail compost material replacing commercial organic fertilizer(L treatment), and commercial organic fertilizer as the control(CK). The results showed that the plant height(88.83 cm), plot yield(137.13 kg·10 m⁻²), and soluble sugar content(127.10 mg·g⁻¹) under L treatment were significantly increased by 9.67%, 18.76%, and 18.38%, respectively, while nitrate content(53.46 mg·kg⁻¹) was significantly decreased by 31.17%, compared with CK. The results of membership function analysis demonstrated that cucumber under L treatment exhibited the best overall performance. RDA analysis indicated that soil total phosphorus and available potassium were the key factors affecting the growth, yield and quality of cucumber. In conclusion, pepper tail vegetable compost can effectively replace commercial organic fertilizer, exhibiting the best comprehensive effect in promoting cucumber growth, increasing yield, and improving quality.

Key words: Cucumber; Tail vegetable fermentation product; Organic fertilizer substitute; Yield and quality; Soil physicochemical property

收稿日期:2025-12-02;修回日期:2026-03-23

基金项目:江苏省第六期“333 人才”培养支持资助项目;南京市蔬菜科学研究所社发项目

作者简介:闵梦月,女,工程师,主要从事土壤肥料与土壤改良研究。E-mail:2268080941@qq.com

通信作者:王东升,男,正高级农艺师,主要从事蔬菜生产及土肥技术等研究。E-mail:wdsh000@126.com

近年来,随着我国蔬菜产业的迅猛发展,种植面积不断扩增,产量持续提高,同时也产生了大量蔬菜废弃物(尾菜),目前多数尾菜被简单丢弃或焚烧处理,不仅造成资源浪费,也带来一系列环境污染问题^[1]。将尾菜进行还田处理,特别是经过堆肥发酵后再还田,是一项具有可持续性的农业实践^[2]。该技术有助于优化土壤结构,为作物营造更有利的生长环境;同时,尾菜富含多种营养元素,其有机质在矿化过程中释放的养分可满足作物生长需求,有效提升土壤中氮、磷、钾含量^[3-4]。近年来,围绕尾菜及秸秆类农业废弃物的堆肥化利用,国内外学者已开展了大量研究。番茄秸秆发酵产物作为基质再次种植番茄能提高产量及可溶性蛋白含量,并降低硝酸盐含量^[5],腐熟玉米秸秆与化肥配施可改良设施土壤环境,促进黄瓜根系生长,增强根系活力,提高产量和品质^[6]。

黄瓜(*Cucumis sativus*)是我国设施农业中重要的蔬菜作物。近年来,部分种植者为追求增产目标,过量施用化肥,导致土壤理化性状退化,养分平衡失调^[7]。此外,同一地块多年连续种植黄瓜引发连作障碍,进一步加剧了土壤环境退化,致使土传病害频发,最终造成设施黄瓜的产量与品质下降^[6]。商品有机肥虽能在一定程度上缓解这一问题,但其生产成本较高,且过度依赖外源有机肥输入,不利于农业废弃物的就地循环利用。在此背景下,利用尾菜发酵产物替代商品有机肥,不仅可消纳大量蔬菜废弃物,还能实现设施蔬菜生产的节本增效,具有重要的现实意义。然而,目前关于尾菜发酵产物替代商品有机肥的研究多聚焦于单一原料的效果验证^[8],针对不同原料尾菜发酵产物在黄瓜生产中综合效应的对比研究仍较为缺乏,不同尾菜原料对作物生长、产量、品质及土壤性质的差异化影响尚不明确。鉴于此,笔者以黄瓜为试验对象,研究不同尾菜发酵产物代替商品有机肥对黄瓜生长、产量、品质和土壤理化性质的影响,以期筛选

出能促进黄瓜生长的尾菜发酵产物,为尾菜肥料化利用技术研究提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

试验于 2024 年 2—7 月在南京市蔬菜科学研究所蔬菜科技园 8332 大棚内进行。该地区属亚热带湿润气候,土壤类型为黄棕壤,土质偏黏,长期设施耕种,土壤已经熟化,呈微酸性,肥力中等。试验前对土壤理化性质进行测定,pH 为 5.89,土壤有机质含量(w,后同)为 25.18 g·kg⁻¹,全氮含量 2.39 g·kg⁻¹,全磷含量 1.32 g·kg⁻¹,碱解氮含量 235.02 mg·kg⁻¹,速效磷含量 18.89 mg·kg⁻¹,速效钾含量 170.92 mg·kg⁻¹。

供试作物为津优 1 号黄瓜,种子购自南京市金盛达子公司。

供试肥料:尾菜发酵产物为南京市蔬菜科学研究所伏天换茬间隙,利用气流膜静态好氧发酵装置以各种尾菜为原料进行堆肥发酵产生的物料^[9];三元复合肥(15-15-15),总养分含量≥45%,产自安徽司尔特肥业股份有限公司;商品有机肥,总养分含量≥5%,有机质含量≥45%,产自南通惠农生物有机肥有限公司。

1.2 试验设计

黄瓜于 2024 年 2 月 10 日进行穴盘育苗,3 月 19 日移栽定植。定植株行距为 40 cm×50 cm,小区面积为 5 m×2 m=10 m²,每个小区定植 50 株。试验共设 4 个处理,每个处理 3 次重复,每次重复为 1 个小区,小区完全随机排列。以商品有机肥为对照(CK),F+L 处理,番茄+辣椒秸秆尾菜发酵产物替代商品有机肥(总养分含量 45.73 g·kg⁻¹);F+Y 处理,番茄+玉米秸秆尾菜发酵产物替代商品有机肥(总养分含量 50.09 g·kg⁻¹);L 处理,辣椒尾菜发酵产物替代商品有机肥(总养分含量 49.47 g·kg⁻¹)。基肥于耕种前 1 d 施入土中并进行翻耕。各处理施肥情况具体见表 1。

表 1 各处理施肥情况
Table 1 Fertilization conditions of each treatment (kg·667 m⁻²)

处理 Treatment	复合肥 Compound fertilizer	商品有机肥 Commercial organic fertilizer	尾菜发酵产物 Tail vegetable fermentation product		
			番茄+辣椒 Tomato+pepper	番茄+玉米 Tomato+maize	辣椒 Pepper
CK	30	500	0	0	0
F+L	30	0	500	0	0
F+Y	30	0	0	500	0
L	30	0	0	0	500

1.3 测定指标及方法

定植后1个月测定黄瓜的生长指标,包括株高、茎粗和SPAD值,每个小区选取3株长势中等的植株进行测定。其中株高用直尺测量子叶节到主茎顶端(即生长点)的距离;茎粗用得威斯游标卡尺测定;使用TYS-A型叶绿素测定仪测定每个处理生长点向下第3片完全展开叶的叶绿素含量(SPAD值)。

果实达到商品果时开始分小区采摘,4月28日第一次采收,6月13日最后一次采收,共计14次,用电子天平称量单瓜质量,累计产量为总产量。在黄瓜盛果期采收时每个处理选取成熟度一致的5个果实样品,采用直尺和游标卡尺分别测量果长和果粗,并测定果实品质。其中可溶性蛋白含量采用考马斯亮蓝法测定,维生素C含量采用2,6-二氯酚滴定法测定,可溶性糖含量采用蒽酮比色法测定,硝酸盐含量采用水杨酸法测定,纤维素含量采用比色法测定^[10]。

采用隶属函数法对各处理下的黄瓜生长、产量和品质指标进行综合评价^[11],计算公式如下:

$$R(X_i)=(X_i-X_{\min})/(X_{\max}-X_{\min}); \quad (1)$$

$$R(X_i)=(X_{\max}-X_i)/(X_{\max}-X_{\min}). \quad (2)$$

式中, X_i 为某一处理下黄瓜某一指标测定值, $X_{\max}$ 、 $X_{\min}$ 为所有处理下某一指标的最大值和最小值。对于正向指标采用公式(1),对于负向指标采用公式(2)。硝酸盐和纤维素含量为负向指标,其他指标为正向指标。隶属函数值越大,表明该指标表现越优。

在采收结束后,每个处理组采用五点取样法分别采集土壤样品,去除杂物后迅速装入塑料自封袋中,在-20℃冰箱保存,用于土壤理化性质测定。采用电位法测定pH,采用电极法测定EC,采用重铬酸钾-外加热法测定有机质含量,采用凯氏定氮法测定全氮含量,采用钼锑抗比色法测定全磷含量,采用 $\text{NH}_4\text{F-HCl}$ 浸提法测定速效磷含量,采用火焰光度法测定速效钾含量,采用碱解扩散法测定碱解氮含量^[12]。

1.4 数据分析

采用Excel 2016软件整理试验数据,采用SPSS 27.0统计软件进行单因素方差分析,多重比较采用最小显著极差法,差异显著性水平为 $P<0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 不同处理对黄瓜植株生长的影响

生长指标客观反映蔬菜的生长状况,其动态变化与产量形成直接相关,不同处理定植1个月后的黄瓜生长情况见表2。在株高方面,L处理显著高于对照(CK),而F+L处理和F+Y处理与CK无显著差异,说明单一L处理在促进株高生长方面表现较好。各处理的茎粗介于9.44~10.29 mm之间,差异均不显著,表明不同施肥处理对茎粗影响较小。SPAD值反映叶片叶绿素相对含量,各处理下SPAD值在33.69~35.43之间,各处理与CK相比无显著差异,说明施肥处理未对黄瓜叶片叶绿素含量产生明显影响。综上,L处理显著增加株高,而各施肥处理对茎粗和叶绿素含量均未产生显著影响。

表2 不同处理的黄瓜生长状况

Table 2 Growth status of cucumber under different treatments

处理 Treatment	株高 Plant height/cm	茎粗 Stem diameter/mm	SPAD值 SPAD value
CK	81.00±7.12 b	9.99±0.52 a	34.21±1.43 a
F+L	85.00±6.41 ab	10.06±0.75 a	35.43±2.17 a
F+Y	84.06±6.24 ab	10.29±1.03 a	33.69±1.78 a
L	88.83±3.45 a	9.44±1.04 a	34.21±2.24 a

注:同列不同小写字母表示在0.05水平差异显著。下同。

Note: Different small letters in the same column indicate significant difference at 0.05 level. The same below.

2.2 不同处理对黄瓜产量的影响

不同处理对黄瓜产量的影响如表3所示。在果实外观与单瓜质量方面,各处理间均无显著差异。果长介于33.78~36.33 cm,果粗介于34.44~35.46 mm,单瓜质量介于242.17~256.97 g,表明施

表3 不同处理的黄瓜产量指标

Table 3 Yield indicators of cucumber under different treatments

处理 Treatment	果长 Fruit length/cm	果粗 Fruit width/mm	单瓜质量 Single fruit mass/g	小区产量 Plot yield/(kg·10 m ²)
CK	36.33±1.52 a	35.46±2.08 a	256.97±38.30 a	115.47±8.66 b
F+L	33.78±4.47 a	34.44±1.92 a	242.17±29.87 a	115.44±1.56 b
F+Y	35.94±2.30 a	34.61±1.70 a	252.03±37.96 a	124.13±14.92 ab
L	36.17±2.85 a	35.23±2.60 a	250.08±43.00 a	137.13±9.65 a

肥处理并未显著改变果实的个体大小和质量。小区产量为整个试验过程中 14 次采摘的总产量,结果显示,L 处理最高,达到 137.13 kg·10 m⁻²,显著高于 CK 和 F+L 处理。F+Y 处理的小区产量虽高于 CK,但与 CK 及 L 处理均无显著差异。综上,虽然各施肥处理对单果性状影响不显著,但 L 处理能显著提高单位面积产量。

2.3 不同处理对黄瓜品质的影响

不同处理对黄瓜品质的影响见表 4。结果显示,维生素 C 含量以 F+L 处理最高,达到 15.49 mg·100 g⁻¹,

显著高于其他处理;可溶性糖含量以 L 处理最高,为 127.10 mg·g⁻¹,显著高于 CK;在硝酸盐含量方面,L 处理(53.46 mg·kg⁻¹)和 F+L 处理(57.20 mg·kg⁻¹)均显著低于 CK;各处理的纤维素含量均低于 CK,其中 F+L 处理最低,较 CK 显著降低 24.26%。L 处理的水分含量最高,显著高于 F+Y 处理,与 CK 和 F+L 处理无显著差异。各处理的可溶性蛋白含量无显著差异。综上,L 处理在提升果实可溶性糖含量和降低硝酸盐含量方面表现突出,而 F+L 处理则在提高维生素 C 含量和降低纤维素含量方面效果最佳。

表 4 不同处理对黄瓜品质的影响
Table 4 Effects of different treatments on fruit quality of cucumber

处 理 Treatment	w(水分) Water content/%	w(可溶性蛋白) Soluble protein content/(mg·g ⁻¹)	w(维生素 C) Vitamin C content/(mg·100 g ⁻¹)	w(可溶性糖) Soluble sugar content/(mg·g ⁻¹)	w(硝酸盐) Nitrate content/ (mg·kg ⁻¹)	w(纤维素) Cellulose content/(mg·g ⁻¹)
CK	70.06±1.43 ab	32.22±6.23 a	9.78±1.35 c	107.37±2.32 b	77.67±14.90 a	111.72±12.74 a
F+L	70.46±0.69 ab	36.88±3.24 a	15.49±0.84 a	125.49±11.71 ab	57.20±6.60 bc	84.62±12.46 b
F+Y	69.14±0.84 b	38.32±3.52 a	13.18±1.08 b	117.56±11.26 ab	72.31±6.46 ab	95.42±17.09 ab
L	71.35±0.96 a	31.10±3.13 a	8.70±1.18 c	127.10±10.27 a	53.46±4.38 c	89.11±11.30 ab

2.4 黄瓜各指标的隶属函数值

采用隶属函数法对不同处理的黄瓜生长、产量及品质指标进行综合评价,结果如表 5 所示。各处理的综合表现排序为 L>F+L>F+Y>CK。其中 L 处理的平均隶属函数值最高,主要是因为其在株高、小区产量、含水量、可溶性糖含量和硝酸盐含量这 5

个关键指标上表现最优(隶属函数值均为 1.000)。F+L 处理排名第 2,其在维生素 C 和纤维素含量方面表现突出。F+Y 处理和 CK 的综合评分较低,表现相对一般。因此,L 处理能兼顾生长与高产,并且可以提高可溶性糖含量,降低硝酸盐含量,其综合表现最优,F+L 处理次之。

表 5 不同处理黄瓜各指标的隶属函数值
Table 5 Membership function value of various indicators of cucumber under different treatments

处理 Treatment	株高 Plant height	茎粗 Stem diameter	SPAD 值 SPAD value	果长 Fruit length	果粗 Fruit width	单瓜 质量 Single fruit mass	小区 产量 Plot yield	水分 含量 Water content	可溶性 蛋白 含量 Soluble protein content	维生素 C 含量 Vitamin C content	可溶性糖 含量 Soluble sugar content	硝酸盐 含量 Nitrate content	纤维素 含量 Cellulose content	平均隶 属函数 Average member- ship function	排名 Rank
CK	0.000	0.644	0.299	1.000	1.000	1.000	0.002	0.414	0.155	0.159	0.000	0.000	0.000	0.359	4
F+L	0.511	0.727	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.599	0.800	1.000	0.918	0.845	1.000	0.569	2
F+Y	0.390	1.000	0.000	0.848	0.165	0.667	0.401	0.000	1.000	0.661	0.516	0.222	0.602	0.498	3
L	1.000	0.000	0.299	0.935	0.780	0.535	1.000	1.000	0.000	0.000	1.000	1.000	0.834	0.645	1

2.5 不同处理对土壤理化性质的影响

不同处理对土壤理化性质的影响见表 6。结果表明,不同处理对土壤理化性质的影响存在差异。与 CK 相比,各处理间土壤 pH 无显著变化;在 EC 值方面,F+L 处理最高且显著高于其他处理;各处理的有机质含量均高于 CK,其中 F+Y 处理最高且显著高于 CK;各处理的全氮、全磷及速效磷含量均

高于或等于 CK,但差异不显著;在速效钾含量方面,F+Y 处理显著低于 CK;碱解氮含量则以 F+L 处理最高,且显著高于 CK。综合来看,各施肥处理对土壤的改良作用各有特点:F+L 处理在提升土壤 EC 值与碱解氮含量方面效果明显;F+Y 处理虽显著提高了有机质含量,但显著降低了速效钾含量;L 处理对各项土壤指标均未产生显著影响。

表 6 不同处理对土壤理化性质的影响

Table 6 Effects of different treatments on the physicochemical property of soil

处理 Treatment	pH	EC/ ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$)	w(有机质) Organic matter content/ ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	w(全氮) Total N content/ ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	w(全磷) Total P content/ ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	w(速效磷) Available P content/ ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	w(速效钾) Available K content/ ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	w(碱解氮) Alkaline N content/ ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)
CK	5.63±0.44 a	279.67±23.59 b	38.14±2.71 b	2.50±0.19 a	1.12±0.14 a	29.52±2.08 a	200.33±16.44 a	161.33±7.77 b
F+L	5.36±0.47 a	397.00±48.45 a	41.77±1.39 ab	2.55±0.57 a	1.21±0.26 a	34.90±5.74 a	185.67±18.77 ab	194.33±28.69 a
F+Y	5.29±0.39 a	302.67±32.25 b	47.27±4.52 a	3.06±0.55 a	1.23±0.18 a	34.63±4.18 a	162.67±5.51 b	183.33±12.74 ab
L	5.39±0.32 a	320.00±22.54 b	41.89±2.65 ab	2.59±0.60 a	1.12±0.16 a	34.58±3.78 a	185.33±11.24 ab	174.67±10.79 ab

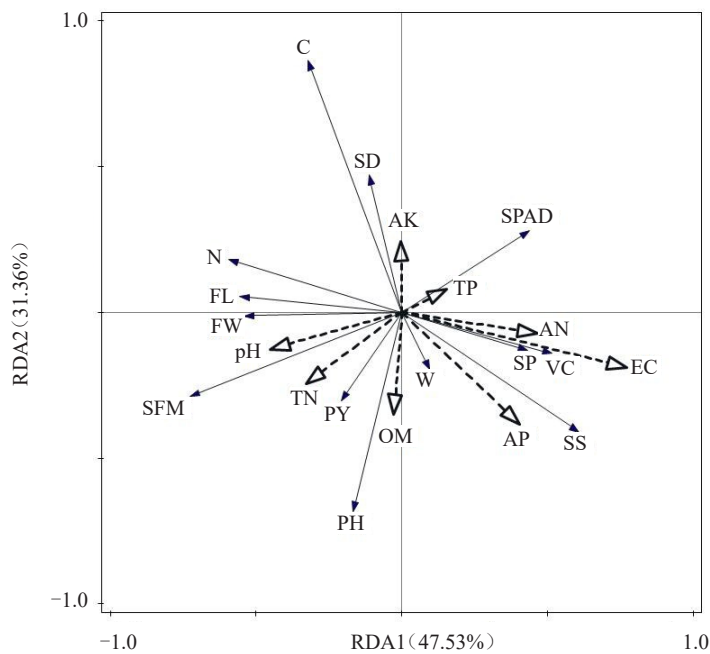
2.6 黄瓜农艺及品质指标与土壤理化性质的关系

为进一步分析黄瓜生长与土壤理化性质之间的关系,对黄瓜生长、产量和品质指标与土壤理化性质进行了 RDA 分析。由图 1 可知,第一轴贡献率 47.53%,第二轴贡献率 31.36%,两者能够共同解释 78.89%的生长信息。从排序结果可知,EC、全磷含量和速效钾含量对黄瓜各指标解释度分别为 20.7%($P<0.05$)、12.9%和 11.5%,说明土壤全磷、速效钾含量等反映养分的指标是影响黄瓜各指标的关键因子。其中,生长指标株高与有机质含量、全

氮含量、pH 呈正相关,茎粗、SPAD 值与速效钾含量、全磷含量呈正相关,产量指标中果长、果粗、单瓜质量和产量多与全氮含量、pH 呈正相关,品质指标中水分含量、可溶性糖含量、可溶性蛋白含量、维生素 C 含量与 EC 值、有机质含量、速效磷含量、碱解氮含量呈正相关。

3 讨论与结论

笔者通过分析尾菜发酵产物施用对黄瓜生长、产量、品质及土壤性质的影响,比较了 3 种尾菜发



注:PH. 株高;SD. 茎粗;FL. 果长;FW. 果粗;SFM. 单瓜质量;PY. 小区产量;W. 水分含量;SP. 可溶性蛋白含量;VC. 维生素 C 含量;SS. 可溶性糖含量;N. 硝酸盐含量;C. 纤维素含量;EC. 电导率;OM. 有机质含量;TN. 全氮含量;TP. 全磷含量;AP. 速效磷含量;AK. 速效钾含量;AN. 碱解氮含量。

Note: PH. Plant height; SD. Stem diameter; FL. Fruit length; FW. Fruit width; SFM. Single fruit mass; PY. Plot yield; W. Water content; SP. Soluble protein content; VC. Vitamin C content; SS. Soluble sugar content; N. Nitrate content; C. Cellulose content; EC. Conductivity; OM. Organic matter content; TN. Total N content; TP. Total P content; AP. Available P content; AK. Available K content; AN. Alkaline N content.

图 1 黄瓜生长、产量及品质指标与土壤理化性质的 RDA 分析

Fig. 1 RDA analysis of cucumber growth, yield, and quality indicators with soil physicochemical property

酵产物替代商品有机肥的应用效果。结果表明,尾菜发酵产物的施用效果因原料种类不同而存在显著差异,其作用不仅在于直接补充养分,更可能通过改变土壤微环境和养分含量,间接影响作物生长与代谢。前人研究指出,秸秆直接还田处理后短时间内对下一茬作物的生长有化感抑制作用,而经充分腐熟的堆肥则能消除此类负面影响,促进作物的生长并增产提质^[13]。本研究中,尽管各尾菜发酵物料的总养分含量未高于商品有机肥,但其处理下的黄瓜在株高、小区产量以及可溶性糖含量等关键指标上表现优异,尤其是L处理(辣椒尾菜堆肥)综合效益最为突出。本研究结果与宋佳泽^[14]的研究结论相符,进一步证实了农业废弃物经堆肥处理后,能促进黄瓜生长并提高产量。本研究中L处理表现优异的原因可能在于:辣椒尾菜本身含有独特的次生代谢物如辣椒素、类黄酮等以及较高的钾含量,经发酵后形成更易被吸收的形态,可能更高效地促进黄瓜的光合产物积累与转运,从而提升了L处理下的黄瓜株高、产量和可溶性糖含量。卢麒宇等^[15]的研究为此提供了佐证,发现辣椒秸秆能全面促进植株对氮、磷、钾养分的吸收与转运,而其他作物秸秆的作用则相对单一。此外,F+L处理能显著提高维生素C含量并降低纤维素含量,这表明不同尾菜原料的混合发酵可能产生了协同效应,促进维生素C合成,调节细胞壁代谢,优化果实的营养品质与食用口感。这表明可通过改变尾菜堆肥的原料及配比,实现对作物品质性状的定向改良。

试验后土壤理化性质测定结果表明,尾菜发酵产物的施用对土壤有一定的改良作用。F+Y处理(番茄+玉米)显著提高了土壤有机质含量,这可能是玉米秸秆富含的木质素、纤维素是形成稳定土壤有机碳库的重要来源^[16]。F+L处理则显著提升了土壤电导率(EC)和碱解氮含量,表明该物料矿化分解速度较快,在短期内促进了土壤有效养分尤其是碱解氮含量的升高。然而,所有尾菜处理的全氮、全磷及速效磷含量与CK均无显著差异,且F+Y处理的速效钾含量显著降低。这提示尾菜发酵产物作为替代肥源,其养分释放规律可能与黄瓜快速生长期的需肥高峰不一致,尤其是对于钾这种需求量较大的养分而言^[17-18]。冗余分析(RDA)结果指出,土壤全磷和速效钾含量是解释黄瓜各指标变异的关键因子。这从侧面说明,综合表现最优的L处理并未显著提高土壤速效钾含量,却实现了高产优质,

可能是因为辣椒尾菜发酵产物促进了植株对土壤本身钾库的高效吸收与利用,而非仅仅依赖外源钾的输入^[19]。

本研究明确了特定尾菜发酵产物在黄瓜生产中的应用效果,但仍存在一定的局限性。受到前期尾菜堆肥试验的影响,本试验的尾菜种类受到限制;此外,研究周期仅为1个生长季节,尾菜发酵产物长期施用对土壤微生物群落结构、有机质含量及连作障碍的缓解作用尚不明确。因此,需要针对还田下不同种类及配比的秸秆尾菜发酵产物养分释放规律、植株吸收等特性做进一步研究,为尾菜废弃物合理还田、增产增效提供理论支撑。

综上所述,辣椒尾菜发酵产物可有效替代商品有机肥应用于黄瓜生产中。与常规施肥相比,单一辣椒尾菜处理(L)显著提升了黄瓜株高、产量及果实可溶性糖含量,同时降低了硝酸盐含量,综合表现最优。不同尾菜发酵产物的施用对土壤理化性质产生差异化影响,其中番茄+玉米处理(F+Y)显著提高了土壤有机质含量,番茄+辣椒处理(F+L)则能提高土壤电导率和碱解氮含量,表明尾菜堆肥的原料组成决定了其改良土壤的不同效果。冗余分析进一步表明,土壤全磷与速效钾含量是影响黄瓜生长与品质的关键因子。辣椒尾菜堆肥在资源化利用与增产提质方面具有良好的应用前景,实际生产中可根据土壤改良或品质提升等不同目标,选择适宜的尾菜堆肥类型。未来需重点关注尾菜发酵产物的养分释放与作物需肥规律之间的匹配关系,并探究长期施用尾菜发酵产物对土壤微生态和作物连作障碍的调节作用。

参考文献

- [1] 吴少博,邢力元,王进朝,等.农业废弃物资源化利用的国内外研究热点和发展趋势分析[J].中国农学通报,2024,40(8):148-156.
- [2] 蔡佳敏,蔡琳琳,贾思禹,等.蔬菜废弃物肥料化研究进展[J].中国蔬菜,2024(10):19-27.
- [3] Ahmed W, Qaswar M, Jing H, et al. Tillage practices improve rice yield and soil phosphorus fractions in two typical paddy soils[J]. Journal of Soils and Sediments, 2020, 20(2):850-861.
- [4] Bai Y L, Wang L, Lu Y L, et al. Effects of long-term full straw return on yield and potassium response in wheat-maize rotation[J]. Journal of Integrative Agriculture, 2015, 14(12):2467-2476.
- [5] 徐晓东,虞慧彬,白雅晖,等.番茄秸秆发酵产物循环利用效果研究[J].陕西农业科学,2022,68(6):27-32.
- [6] 张晓伟,杨显贺,车豪杰,等.腐熟玉米秸秆对设施土壤环境及黄瓜产量和品质的影响[J].应用生态学报,2023,34(5):

1290-1296.

[7] 金珊.有机肥与菌肥配施对设施黄瓜品质及土壤质量的影响[D].北京:中国农业科学院,2024.

[8] 杨林.基于气流膜发酵技术的农业多源废弃物资源化与就地利用[D].重庆:西南大学,2023.

[9] 张嘉伟,王蓓,王东升,等.不同原料对比对尾菜气流膜堆肥效率和品质的影响[J].生态与农村环境学报,2022,38(12):1613-1620.

[10] 赵世杰,史国安,董新纯.植物生理学实验指导[M].北京:中国农业科学技术出版社,2002.

[11] 汪玉洁,郑胤建,苏蔚,等.不同光质对豌豆芽苗菜生长和品质的影响[J].广东农业科学,2013,40(24):32-34.

[12] 鲍士旦.土壤农化分析[M].3版.中国农业出版社,2000.

[13] 冯丽雪.不同秸秆还田方式对杂草群落结构及玉米产量的影响[D].黑龙江牡丹江:牡丹江师范学院,2025.

[14] 宋佳泽.农业废弃物还田对设施黄瓜生长及根际代谢的影响[D].呼和浩特:内蒙古农业大学,2021.

[15] 卢麒宇,肖云英,孙国超,等.不同茄果类蔬菜秸秆对毛桃幼苗养分吸收的影响[J].土壤通报,2025,56(1):180-188.

[16] 张琦林.玉米秸秆不同部位及茎叶鞘还田对土壤有机质形成的影响研究[D].长春:中国科学院大学(中国科学院东北地理与农业生态研究所),2024.

[17] 马万征,圣冬冬,马万敏,等.不同浓度营养液下温室黄瓜生长发育中K分配规律的研究[J].北方园艺,2015(6):23-26.

[18] 陈爽,李先平,章志航,等.不同商品有机肥大量及中微量养分释放规律研究[J].土壤通报,2022,53(4):882-889.

[19] 杨雅,夏贤格,范先鹏,等.长期秸秆还田提升稻麦轮作系统土壤供钾容量和强度[J].植物营养与肥料学报,2022,28(4):589-597.