味精废浆有机肥对西瓜根系特性与根际土壤腐殖质组成的影响

王明友，张 红，李士平

（德州学院 生态与园林建筑学院，山东 德州 253023）

摘 要：[目的] 探讨味精废浆有机肥(以下简称有机肥)与化肥配施对西瓜根系吸收特性及根际腐殖质组成的影响效果。[方法] 以黑彤 K-8 西瓜为试材，通过大田试验，研究 CK(对照，不施肥)；N_{100}(纯尿素，以下简称无机肥)；$M_{10}N_{90}$(有机和无机比例为 10%和 90%)；$M_{30}N_{70}$(有机和无机比例为 30%和 70%)和 $M_{50}N_{50}$(有机和无机比例各为 50%)等处理对西瓜根系活力、建造水平、形态特征以及根际中根系分泌物含量与腐殖质组成的影响。[结果] 同 N_{100} 处理相比，$M_{30}N_{70}$ 处理明显提高了西瓜的根系活力，并促进了根系的生长；同时还显著增加了西瓜的总根长、根表面积、比根表面积、根体积和根尖数，而根系直径却明显降低，其中总根长较 CK，N_{100}，$M_{10}N_{90}$ 和 $M_{50}N_{50}$ 处理分别增加 74.63%，40.84%，28.41%和 19.37%，比根表面积分别增加了 14.39%，11.64%，6.04%和 7.56%。此外，$M_{30}N_{70}$ 处理亦提高了根际中根系分泌物和胡敏酸的含量，并提升了胡/富比，其中胡敏酸含量分别较 CK，N_{100} 和 $M_{10}N_{90}$ 处理提高了 39.42%，30.82%和 20.89%。相对于 $M_{30}N_{70}$ 处理，$M_{10}N_{90}$ 和 $M_{50}N_{50}$ 处理对西瓜的影响作用较小。[结论] 味精废浆有机肥与化肥以 3∶7 比例配施对西瓜根系吸收特性与根际腐殖质组成的作用效果最佳，建议作为生产实践中的施用比例。

关键词：西瓜；味精废浆有机肥；根系形态特征；根系分泌物；腐殖质

文献标识码：A **文章编号**：1000-288X(2015)05-0205-06 **中图分类号**：S158.3

DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.20151012.001

Effects of Monosodium Glutamate Wastewater Manure on Root Characteristics and Humus Composition in Rhizosphere Soil of Watermelon

WANG Mingyou, ZHANG Hong, LI Shiping

(*College of Ecology and Garden Architecture, Dezhou University, Dezhou, Shandong* 253023, *China*)

Abstract: [Objective] The objective of the study is to explore the effect of monosodium glutamate wastewater manure (hereinafter referred to as manure) mixed with inorganic fertilizer on the root absorption characteristics and humus composition of rhizosphere soil of watermelon (*Citrullus lanatus*). [Methods] The present study was conducted to determine the effects of different treatments, i.e. CK (control, no fertilization); N_{100} (pure urea, hereinafter referred to as inorganic fertilizer); $M_{10}N_{90}$ (the proportion of manure and inorganic fertilizer is 10% and 90%); $M_{30}N_{70}$ (the proportion of manure and inorganic fertilizer is 30% and 70%) and $M_{50}N_{50}$ (the proportion of manure and inorganic fertilizer is 50% and 50%) on root activity, construction levels of root system, root morphological characteristics and root exudates, as well as humus composition in the rhizosphere soil of watermelon. [Results] The results indicated that in comparison to N_{100} treatment, $M_{30}N_{70}$ treatment significantly increased root activity, and promoted the root growth of watermelon. At the same time, $M_{30}N_{70}$ treatment also increased the total root length, root surface area, specific root surface area, root volume and root tip number, while the root average diameter obviously decreased. The total root length in the $M_{30}N_{70}$ treatment increased by 74.63%, 40.84%, 28.41% and 19.37%, and the specific root surface area was increased by 39.42%, 30.82% and 20.89% compared to the treatments of CK, N_{100}, $M_{10}N_{90}$ and $M_{50}N_{50}$, respectively. In addition, $M_{30}N_{70}$ treatment obviously increased the contents of root exudates and humic

收稿日期：2014-12-31 **修回日期**：2015-01-29

资助项目：山东省科技发展计划项目“鲁西北地区新型日光温室及其蔬菜生产关键技术研究集成与示范”(2012GNC11108)

第一作者：王明友(1964—)，男(汉族)，山东省安丘市人，大学本科，教授，主要从事蔬菜高产生理生态方面的教学与研究工作。E-mail：nwmy_sddz@163.com。

acid, and increased the ratio of humic acid to fulvic acid, showing 137.36%, 47.95% and 33.33% increase in humic acid content compared with the treatments of CK, N_{100} and $M_{10}N_{90}$, respectively. However, in $M_{10}N_{90}$ and $M_{50}N_{50}$ treatments, less effects was observed than that in $M_{30}N_{70}$ treatment. [Conclusion] Monosodium glutamate wastewater mixed with inorganic fertilizer, especially $M_{30}N_{70}$ treatment, is beneficial to the root absorption characteristics and humus composition in the rhizosphere soil of watermelon, and it is recommended as the suitable fertilization proportion in the practice.

Keywords: watermelon; monosodium glutamate wastewater manure; root morphological characteristics; root exudates; humus

有机肥可保持土壤肥力,提高作物根系活性,且对养分具有缓释效果,与化肥相比肥效期更长、养分利用率更高[1]。有研究认为[2],有机肥与化肥配施能促进作物根系生长,提高根系的吸收能力。也有研究表明[3-5],配施有机肥能改变根际土壤的腐殖质组成,改善土壤的微生态环境。所以,化肥与有机肥的搭配施用是长期以来农业生产中的研究热点。

味精废浆具有产量大、有机物和氨氮含量高且酸度低等特点,直接排放会对环境造成严重的污染[6]。目前一般的处理方法有厌氧生物技术、物化技术和生物发酵技术等[7],尽管处理后能达到安全排放的要求,但这些方法操作复杂、技术性强,且成本高,很难实现循环再利用。味精废浆中所含有的有机质、铵态氮、磷与游离氨基酸等成分是植物生长必不可少的营养物,若作为有机肥加以合理利用,则可变废为宝,一举两得[8]。谷丰[9]研究表明,味精废浆对茶叶、水稻、食用菌等均有显著的增产效应。也有研究发现,施用味精废浆可改善白菜、番茄的品质,并能明显提高产量[10-11]。但目前关于配施味精废浆在西瓜上的研究应用相对较少,尤其对西瓜根系吸收特性及根际土壤腐殖质组成的研究还未见报道。根系吸收特性决定了植株获得养分和水分的能力,作物生产中采取的许多栽培措施本质上是通过影响根系吸收特性来控制个体和群体的发育,从而达到增产的目的[12];而腐殖质是土壤有机质的主体部分,不仅可作为营养元素的"库",还影响着土壤中的矿物成分等,其组成是评价土壤肥力水平的核心指标[13]。为此,本研究以黑彤K-8西瓜为试材,评价味精废浆与化肥以不同比例配施对西瓜根系吸收特性与根际土壤中根系分泌物含量及腐殖质组成的影响效果,以期为推广应用味精废浆提供理论支撑。

1 材料和方法

1.1 试验地点与供试材料

试验地点设在德州市运河经济开发区芦庄村九龙湾生态园,供试土壤为轻壤土,土壤速效氮、磷和钾的含量分别为 92.07,35.18,105.49 mg/kg,有机质含量为 14.89 g/kg。供试化肥品种为尿素(含N46%)、过磷酸钙(含 P_2O_5 12%)和硫酸钾(含 K_2O 50%),有机肥为利用味精行业所产生废浆制成的颗粒肥料(有机质含量 23.23%,全氮 7.55%,全磷 1.02%,全钾 0.08%)。西瓜品种为黑彤 K-8,拱棚栽培,密度为 7 500 株/hm^2。

1.2 试验设计

西瓜种子经过 40 d 的育苗后,在 2013 年 3 月 28 日移栽到拱棚里,随机区组设计,设 5 个处理:CK,不施肥;N_{100},100%的氮由尿素提供;$M_{10}N_{90}$,10%的氮由味精废浆有机肥提供,90%的氮由尿素提供;$M_{30}N_{70}$,30%的氮由味精废浆有机肥提供,70%的氮由尿素提供;$M_{50}N_{50}$,50%的氮由味精废浆有机肥提供,50%的氮由尿素提供。每个处理重复 3 次,每小区面积为 $3.8\times12=45.6$ m^2,共计 15 个小区。除 CK 外,各处理均为等养分量,N,P 和 K 含量相当于 315,75 和 240 kg/hm^2,各处理 P 和 K 不足部分分别用过磷酸钙、硫酸钾补足。各处理的肥料均在移苗前一次性施入土壤。

1.3 测定项目与方法

2013 年 5 月 31 日(收获期)在每区选择有代表性的 10 棵植株。根据笔者前期在大田用根钻采样的结果,西瓜根系主要分布在 0—30 cm 的耕层中,60—100 cm 处根系分布很少。以 0—100 cm 分布的根系计算,0—30 cm 的根系占全部根系 80%以上,而 0—60 cm 占 95%以上。因此,采取 0—60 cm 的土层基本上可以获得全部根系。据此,把试验的采样深度定为 60 cm。采样时,先把植株的地上部剪下来。对于正常生长的植株,以采样植株为中心,按株距和行距划出根系分布面积,挖掘其中的全部根系,一直到 60 cm深度。将挖出的根系用水冲洗,首先放在一个盛有少量水的长方形平盘中,小心地将根分开,避免根重叠和堆积,然后采用 WinRHIZ2003b 根系分析系统对根系进行扫描,分析计算出总根长、根表面积、比根表面积、根体积、根尖数和平均直径,并用 TTC 比色法测定根系活力;然后用游标卡尺将根系按照直径<2,2~5 和>5 mm 进行分级,然后放入75 ℃的

烘箱中烘干至恒重并分别称其质量。同时参考 Wang 等[14]的方法采集根际土,并将所取根际土壤样品充分混匀后风干,过 1 mm 筛供根系分泌物与腐殖质组成的测定。

根系分泌物中氨基酸总量的测定采用甲醛滴定法;总糖的测定采用蒽酮比色法;有机酸总量的测定采用液相色谱法。腐殖质各组分的测定采用焦磷酸钠提取—重铬酸钾氧化法:首先用重铬酸钾氧化法测定腐殖质全碳,并用氢氧化钠—焦磷酸钠混合液制备待测液,然后用重铬酸钾氧化法分别测定胡敏酸+富里酸的总碳量以及胡敏酸碳量,最后采用差值法即可分组[15]。

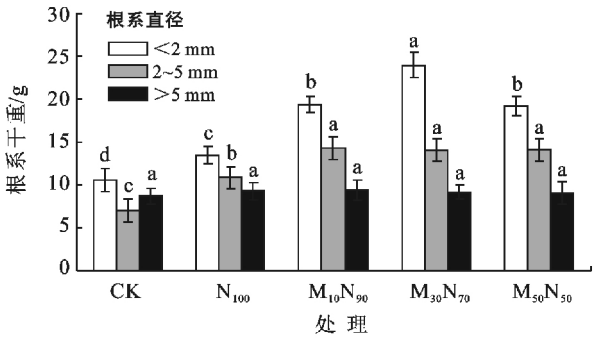
1.4　统计分析

数据经 Excel 整理后,采用 SPSS 17.0 软件进行平均值和标准差的分析,然后用单因素方差分析(one-way ANOVA)和最小显著差异法(LSD)比较不同处理组间的差异,显著性水平设定为 $\alpha=0.05$。

2　结果与分析

2.1　配施味精废浆有机肥对西瓜根系建造水平的影响

从根系分级的绝对重量来看,各施肥处理直径<2 mm 和 2～5 mm 的根系均显著大于对照,而>5 mm 的根系与对照无显著性差异(图 1)。在施肥处理中,配施味精废浆有机肥的 3 个处理对西瓜根系的建造水平产生了很大的影响。同 N_{100} 处理相比,$M_{10}N_{90}$,$M_{30}N_{70}$ 和 $M_{50}N_{50}$ 处理中直径<2 mm 的根系分别高出 43.59%,77.76% 和 42.40%,差异均达显著水平;而在味精废浆有机肥处理中,以 $M_{30}N_{70}$ 处理最大,并明显大于 $M_{10}N_{90}$ 和 $M_{50}N_{50}$ 处理。对于直径 2～5 mm 的根系,3 个配施味精废浆有机肥处理之间未见显著差异,但仍明显大于 N_{100} 处理。此外,不论何种处理,细根是构成西瓜根系的主体部分,CK,N_{100},$M_{10}N_{90}$,$M_{30}N_{70}$ 和 $M_{50}N_{50}$ 处理中直径<2 mm 根系所占比例分别为 40.14%,40.10%,44.99%,50.83% 和 45.33%,直径2～5 mm根系所占比例分别为 26.68%,32.28%,33.19%,29.78% 和 33.56%。可见,配施味精废浆有机肥处理均能明显提高细根的比例,其中 $M_{30}N_{70}$ 处理的细根所占比例达到最大值。从根系总干重来看,味精废浆有机肥的加入同样对根系产生了显著的影响。$M_{10}N_{90}$,$M_{30}N_{70}$ 和 $M_{50}N_{50}$ 处理的根系总干重相比 N_{100} 处理分别增加 27.97%,40.25% 和 25.98%。综上可知,味精废浆有机肥的施入较单施化肥更有利于西瓜根系的生长,尤其是促进了毛细根数量的增加,这对于增强西瓜根系对水分和养分的吸收能力具有重要意义。



注:处理间不同小写字母表示差异显著($p<0.05$)。下同。

图 1　味精废浆有机肥与化肥配施对西瓜根系构建水平的影响

2.2　配施味精废浆有机肥对西瓜根系活力的影响

各施肥处理均不同程度地提高了西瓜的根系活力(图 2)。$M_{30}N_{70}$ 处理的根系活力达到 168.82 μg/(g·h),分别比 CK,N_{100},$M_{10}N_{90}$ 和 $M_{50}N_{50}$ 处理提高 71.65%,37.73%,18.84% 和 21.25%,差异均达显著水平;而 $M_{10}N_{90}$ 与 $M_{50}N_{50}$ 处理差异不显著,但均明显高于 N_{100} 处理。数据表明,味精废浆有机肥与化肥配施处理不仅可以促进西瓜毛细根的生长,还在一定程度上增强了西瓜根系活性;而在配施味精废浆有机肥的 3 个处理中,随着味精废浆有机肥所占比重的增加,西瓜的根系活力呈先升高后降低的变化趋势。

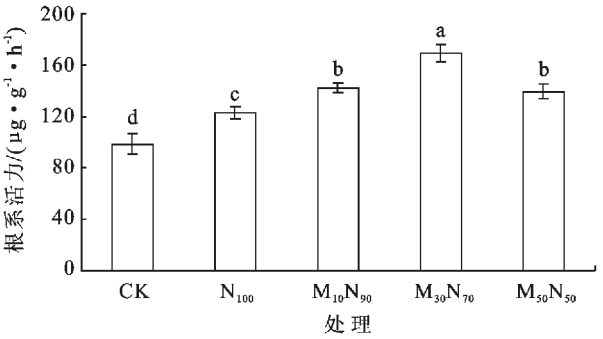


图 2　味精废浆有机肥与化肥配施对西瓜根系活力的影响

2.3　配施味精废浆有机肥对西瓜根系形态特征的影响

根系长度指标可反映根系与土壤的接触面积并反映出根系在土壤中的伸展空间,根表面积、比根表面积、根体积同样可以反应根系的发育状况[16]。同对照相比,各施肥处理总体上明显增加了西瓜根系的总根长、根表面积、比根表面积和根体积(表 1)。在不同的施肥处理中,$M_{30}N_{70}$ 处理的各指标均最高,并显著高于其他处理。其中,$M_{30}N_{70}$ 处理的总根长分别比 CK,N_{100},$M_{10}N_{90}$ 和 $M_{50}N_{50}$ 处理增加 74.63%,40.84%,28.41% 和 19.37%,比根表面积分别增加 14.39%,11.64%,6.04% 和 7.56%。$M_{50}N_{50}$ 处理的总根长和根体积均明显高于 $M_{10}N_{90}$ 处理,而根表面积、比根表面积与 $M_{10}N_{90}$ 处理无显著性差异,但均显

著高于 N_{100} 处理。

从表 1 可知，N_{100} 处理提高了根系的平均直径，但与 CK 未达到显著差异，而配施味精废浆有机肥处理均明显低于 CK，尤其是 $M_{30}N_{70}$ 处理。说明施用味精废浆有机肥能促进西瓜根系变细，这有利于增加根系的表面积，扩大根系对水分和养分的吸收空间。

根尖既包括须根根尖，也包括根毛根尖；须根数和根毛数越多，根系与土壤接触的面积就越大，固定的土壤体积就越大，保持的水分也就越多，同时根系的有效吸收面积就越多[17]。$M_{30}N_{70}$ 处理的根尖数最高，分别较 CK，N_{100}，$M_{10}N_{90}$ 和 $M_{50}N_{50}$ 处理高出 14.15%，13.37%，18.38% 和 17.26%，差异均达显著水平；而 CK，N_{100}，$M_{10}N_{90}$ 和 $M_{50}N_{50}$ 处理之间无显著性差异。以上分析可知，配施味精废浆有机肥处理相比单施化肥能明显改善西瓜根系的形态特征，其中味精废浆有机肥与化肥以 3∶7 比例搭配的作用效果最佳，这表明味精废浆有机肥与化肥的搭配比例至关重要。

表 1 味精废浆有机肥与化肥配施对西瓜根系形态特征的影响

处 理	总根长/cm	根表面积/cm^2	比根表面积/($cm^2 \cdot g^{-1}$)	根体积/cm^3	根尖数	平均直径/cm
CK	5487.35±132.78^e	4286.18±124.93^d	162.91±2.06^c	43.52±1.35^e	869±35^b	0.86±0.02^a
N_{100}	6803.79±145.81^d	5615.32±176.14^c	166.92±3.55^c	52.65±1.09^d	875±46^b	0.89±0.03^a
$M_{10}N_{90}$	7462.24±108.45^c	7565.59±162.08^b	175.74±3.19^b	57.83±0.76^c	838±29^b	0.75±0.02^b
$M_{30}N_{70}$	9582.61±129.32^a	8792.67±139.52^a	186.36±2.81^a	68.91±0.62^a	992±38^a	0.68±0.01^c
$M_{50}N_{50}$	8027.53±158.46^b	7342.54±105.39^b	173.25±1.76^b	61.47±0.85^b	846±43^b	0.74±0.02^b

注：数据为平均值±标准差，同一列中不同小写字母表示处理间差异显著($p<0.05$)。下同。

2.4 配施味精废浆有机肥对西瓜根系分泌物的影响

与 N_{100} 处理相比，配施味精废浆有机肥的 3 个处理的氨基酸总量、有机酸总量和总糖含量均显著升高(表 2)。其中 $M_{30}N_{70}$ 处理的氨基酸总量、有机酸总量和总糖含量明显高于其他处理，分别较 N_{100} 处理高出 44.68%，50.48% 和 31.97%。$M_{50}N_{50}$ 处理的氨基酸总量显著高于 $M_{10}N_{90}$ 处理，而有机酸总量、总糖含量与 $M_{10}N_{90}$ 处理差异不显著。

数据分析表明，配施味精废浆有机肥处理对西瓜根系分泌物含量的作用效果明显优于单施化肥。而在 3 个配施处理中，味精废浆有机肥与化肥以 3∶7 比例搭配的影响作用显著大于1∶9和 5∶5 比例搭配，这可能是由于 3∶7 比例搭配能更明显地增加毛细根数量，增强根系活性，且能显著改善根系的形态特征，从而有利于促进根系分泌物的生成。

表 2 味精废浆有机肥与化肥配施对西瓜根系分泌物含量的影响

处 理	氨基酸总量/($\mu g \cdot kg^{-1}$)	有机酸总量/($mg \cdot g^{-1}$)	总糖/($mg \cdot kg^{-1}$)
CK	310.26±23.06^d	27.15±0.85^d	11.64±0.71^c
N_{100}	319.28±19.43^d	32.07±2.42^c	12.95±0.45^c
$M_{10}N_{90}$	368.45±13.16^c	40.59±1.26^b	14.77±0.29^b
$M_{30}N_{70}$	461.92±21.57^a	48.26±2.18^a	17.09±0.53^a
$M_{50}N_{50}$	397.03±11.28^b	38.64±1.65^b	15.31±0.62^b

2.5 配施味精废浆有机肥对西瓜根际腐殖质组成的影响

土壤中的腐殖质是由胡敏酸、富里酸及残留在土壤中的胡敏素组成。各施肥处理不同程度地改变了西瓜根际土壤胡敏素碳和腐殖酸碳，而其含量和组成变化影响土壤的保肥供肥性能和团聚体的构成(表 3)。在施肥处理中，$M_{50}N_{50}$ 处理的胡敏素碳显著高于其他处理，而腐殖酸碳与 $M_{30}N_{70}$ 处理无显著性差异，但明显高于 CK，N_{100} 和 $M_{10}N_{90}$ 处理；$M_{10}N_{90}$ 处理的胡敏素碳、腐殖酸碳与 CK，N_{100} 处理差异均未达显著水平。同时，$M_{30}N_{70}$ 和 $M_{50}N_{50}$ 处理相比对照明显降低了胡敏素碳与腐殖酸碳的比值，且显著提高了胡敏酸碳和富里酸碳，而 N_{100} 和 $M_{10}N_{90}$ 处理的变化幅度较小，其中 $M_{30}N_{70}$ 处理的胡敏酸碳最高，分别比 CK，N_{100} 和 $M_{10}N_{90}$ 处理高出 39.42%，30.82% 和 20.89%，差异均达显著水平，但与 $M_{50}N_{50}$ 处理差异不显著。从表 3 还可知，$M_{30}N_{70}$ 处理的 HA/FA 比值最大，分别较 CK，N_{100}，$M_{10}N_{90}$ 和 $M_{50}N_{50}$ 处理明显高出 15.88%，13.79%，10.41% 和 8.68%，而其他处理之间均未见显著性差异。以上分析认为，$M_{30}N_{70}$ 和 $M_{50}N_{50}$ 处理相比 N_{100} 处理能降低胡敏素碳与腐殖酸碳的比值，提高腐殖酸碳、胡敏酸碳含量，但只有 $M_{30}N_{70}$ 处理提高了 HA/FA 比值，而 $M_{10}N_{90}$ 处理与 CK，N_{100} 处理之间的差异均未达显著水平。这可能与西瓜的生长周期短有关，也可能和味精废浆有机肥与化肥的搭配比例有一定的关联。

表 3　味精废浆有机肥与化肥配施对西瓜根际腐殖质组分的影响

处 理	胡敏素碳/(g·kg^{-1})	腐殖酸碳/(g·kg^{-1})	胡敏素碳/腐殖酸碳	胡敏酸碳/(g·kg^{-1})	富里酸碳/(g·kg^{-1})	胡/富(HA/FA)
CK	9.19±0.27^{b}	3.09±0.16^{b}	2.97±0.08^{a}	1.37±0.12^{b}	1.72±0.13^{b}	0.80±0.02^{b}
N_{100}	9.25±0.33^{b}	3.26±0.10^{b}	2.84±0.13^{a}	1.46±0.09^{b}	1.80±0.08^{b}	0.81±0.01^{b}
$M_{10}N_{90}$	9.36±0.19^{b}	3.47±0.23^{b}	2.70±0.14^{a}	1.58±0.14^{b}	1.89±0.05^{b}	0.84±0.02^{b}
$M_{30}N_{70}$	9.31±0.25^{b}	3.98±0.20^{a}	2.34±0.09^{b}	1.91±0.05^{a}	2.07±0.08^{a}	0.92±0.01^{a}
$M_{50}N_{50}$	10.08±0.16^{a}	4.05±0.17^{a}	2.49±0.07^{b}	1.86±0.08^{a}	2.19±0.07^{a}	0.85±0.01^{b}

3　讨 论

植物处于一定环境条件下,与养分吸收有关的形态学性状从作用于个体水平到作用于细胞水平以及个体结构功能都存在适应性改变,比如形态可塑性,作物根系形态特性(总根长、根表面积、根体积)与植物水分、养分利用效率具有显著或极显著的相关性[17]。李淑仪等[18]在蔬菜上和王志芬等[19]在冬小麦上的研究认为,有机肥能促进根系的生长,明显提高了作物根系的总干重。本试验研究得出,同单施化肥相比,味精废浆有机肥与化肥配施不仅显著提高了西瓜的根系活力,而且增加了西瓜毛细根的绝对重量,增加细根在整个根系体系中的比例;同时还明显改善了西瓜的根系形态特征,总根长、根表面积、比根表面积和根体积均显著提高,表明配施味精废浆有机肥明显刺激了西瓜根系的生长。这一方面可能是由于味精废浆有机肥的施入提供了丰富的有机碳,调节了土壤 C/N 比,从而对土壤有机无机复合状况及腐殖质结合形态有较好的作用效果;另一方面可能是施用味精废浆有机肥能提高土壤的疏松度,增强了通气性,改善了土壤结构,从而为西瓜根系的生长创造了良好的物理环境[20]。同时,也可能是味精废浆有机肥有诱导土壤中毛细根生长的作用,这对于西瓜养分和水分的吸收利用具有积极的意义。植物根系具有很强的合成功能,能够合成氨基酸、植物碱和维生素等,且在植物的整个生长期间进行着很活跃的代谢作用,向根外分泌无机和有机物质,即根系分泌物[21]。本研究发现,配施味精废浆有机肥处理较单施化肥能明显提高西瓜根系分泌物中氨基酸总量、有机酸总量和总糖含量,这与刘方春等[3]在冬枣上的研究结果一致。主要与味精废浆有机肥显著提高了西瓜的根系活力和毛细根的数量,且明显改善了根系的形态特征密切相关。同时,土壤中有机物质在转化过程中也可能会产生一定量。

有机酸总量的提高可以使根际土壤 pH 值降低,这有助于增强磷、钾与部分盐类离子的溶解性,从而可以提高根际土壤中养分离子的有效性[22],促进西瓜对磷和钾的吸收,对于西瓜品质的提高具有积极意义。这样就形成了"毛细根增加,根系活力提高—根系形态特征的改善—根系分泌物增多—根际土壤中养分离子有效性提高—根系的吸收能力增强,促进根系生长"的良性循环。

腐殖质是土壤有机质的主体部分,是评价土壤肥力水平的重要指标之一,而腐殖酸及胡/富比则是其核心部分[13]。有研究认为[23],有机—无机配施能增加胡敏酸和富里酸的含量,而有机肥明显补充了胡敏酸,或是矿化消耗的富里酸多于胡敏酸,从而导致胡/富比值的升高。本试验研究得出,配施味精废浆有机肥处理较单施化肥显著提高了西瓜根际土壤中腐殖酸、胡敏酸含量及胡/富比。这与王妮等[5]在侧柏上的研究结论基本一致。主要是因为施用味精废浆有机肥明显改善了西瓜根系的形态特征,且增强了根系活性,从而促使根系分泌物增多;关于西瓜根系形态特征、根系分泌物含量与腐殖质组成之间的相关性分析还有待于进一步深入研究。此外,微生物本身活动的加剧能导致细胞死亡并加速残体的分解,也可能是引起胡敏酸增加的原因之一。同时,部分根系的腐解、脱落也可能会改变土壤腐殖质的组成成分[24]。

另外,本试验还得出,在味精废浆有机肥与化肥的 3 个不同比例配施中,3∶7 比例搭配处理对西瓜根系吸收特性及根际土壤腐殖质组成的影响效果要好于 1∶9 和 5∶5 的比例,这可能是由于味精废浆有机肥与化肥以 3∶7 比例配施能更好地调节土壤的碳氮比,有利于土壤微生物的大量繁殖及微生物活性的提高[4],从而更利于西瓜根系的生长和土壤理化性状的改善。这也印证了味精废浆有机肥与化肥的搭配比例是关键因素。

4　结 论

同 N_{100} 处理相比,$M_{30}N_{70}$ 处理明显提高了西瓜的根系活力,并促进了根系的生长,尤其是增加了毛细根的重量和在根系体系中的比例;同时,还显著增加了西瓜的总根长、根表面积、比根表面积、根体积和根尖数,而根系直径却明显降低,其中总根长分别比

CK，N_{100}，M_{10} N_{90} 和 M_{50} N_{50} 处理增加 74.63%，40.84%，28.41%和 19.37%，比根表面积分别增加 14.39%，11.64%，6.04%和 7.56%。此外，M_{30} N_{70} 处理亦提高了根际中根系分泌物和胡敏酸的含量，并提升了胡/富比，其中胡敏酸含量分别较 CK，N_{100} 和 M_{10} N_{90} 处理高出 39.42%，30.82%和 20.89%。相对于 M_{30} N_{70} 处理，M_{10} N_{90} 和 M_{50} N_{50} 处理对西瓜的影响作用较小。总之，味精废浆有机肥与化肥以 3∶7 比例配施对西瓜根系吸收特性与根际土壤腐殖质组成的作用效果最佳，建议作为生产实践中施用比例。

[参 考 文 献]

[1] 张文君，刘兆辉，江丽华，等. 有机无机复混肥对作物产量及品质的影响[J]. 山东农业科学，2005，26(3)：57-58.

[2] 刘方春，马海林，杜振宇，等. PGPR 生物肥对甜樱桃(*Cerasus pseudocerasus*)根际土壤生物学特征影响[J]. 应用与环境生物学报，2012，18(5)：722-727.

[3] 刘方春，邢尚军，马海林，等. 生物肥对冬枣根际土壤微环境特征影响[J]. 北京林业大学学报，2012，34(5)：100-104.

[4] 张乃芹，王明友. 味精废浆对西瓜根际土壤生物学特征的影响[J]. 核农学报，2014，28(9)：1701-1707.

[5] 王妮，朱亚萍，邢尚军，等. 施用牛粪对侧柏根际土壤微环境特征的影响[J]. 核农学报，2014，28(10)：1891-1896.

[6] 方士，李筱焕. 吸附混凝—两段 SBR 法工艺处理味精废水的研究[J]. 浙江大学学报：农业与生命科学版，2010，27(2)：210-214.

[7] Yang Qing，Yang Meng，Hei Lin，et al. Using ammonium-tolerant yeast isolates：*Candida halophila* and *Rhodotorula Glutinis* to treat high strength fermentative wastewater[J]. Environmental Technology，2003，24(3)：383-390.

[8] 彭智平，黄继川，于俊红，等. 味精废浆对花生产量、品质和土壤酶活性的影响[J]. 热带作物学报，2012，33(9)：1579-1583.

[9] 谷丰. 利用味精废浆制取核糖核酸[J]. 发酵科技通讯，2003，32(3)：24-25.

[10] 张铭光，黄群声. 味精生产排出的废浆对白菜生长的影响[J]. 华南师范大学学报：自然科学版，2000，45(3)：81-84.

[11] 朱日清，方萍，张晓玲，等. 味精废浆与微生物菌剂联用对基质培番茄的促生效应[J]. 植物营养与肥料学报，2005，11(6)：810-815.

[12] Costa C，Dwyer L M，Hamilton R I，et al. A sampling method for measurement of large root systems with scanner-based image analysis[J]. Agronomy Journal，2000，92(4)：621-627.

[13] 史吉平，张夫道，林葆. 长期定位施肥对土壤腐殖质理化性质的影响[J]. 中国农业科学，2002，35(2)：174-180.

[14] Wang Xiaoping，Zabowski D. Nutrient composition of Douglas-fir rhizosphere and bulk soil solutions[J]. Plant and Soil，1998，200(1)：13-20.

[15] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京：中国农业科技出版社，1999：24-214.

[16] 李会科，郑秋玲，赵政阳，等. 黄土高原果园种植牧草根系特征的研究[J]. 草业学报，2008，17(2)：92-96.

[17] 慕自新，张岁岐，郝文芳，等. 玉米根系形态性状和空间分布对水分利用效率的调控[J]. 生态学报，2005，25(11)：2895-2900.

[18] 李淑仪，郑惠典，廖新荣，等. 蔬菜施不同肥料对产量和土壤肥力的贡献[J]生态环境，2005，14(2)：266-270.

[19] 王志芬，范仲学，张凤云，等. 鸡粪对高产冬小麦根系活力和光合性能的影响[J]. 核农学报，2003，17(5)：379-382.

[20] 井大炜，邢尚军. 鸡粪与化肥不同配比对杨树苗根际土壤酶和微生物量碳、氮变化的影响[J]. 植物营养与肥料学报，2013，19(2)：455-46.

[21] Bertin C，Yang Xiaohan，Weston L A. The role of root exudates and allelochemicals in the rhizosphere[J]. Plant Soil，2003，256(1)：67-83.

[22] 黄仁华，陆云梅，黄炜. AMF 对假高粱分泌有机酸及吸收 ^{137}Cs 的影响[J]. 核农学报，2013，27(8)：1203-1208.

[23] 宋海燕，尹友谊，宋建中. 不同来源腐殖酸的化学组成与结构研究[J]. 华南师范大学学报，2009，2(1)：61-66.

[24] 比买热木·阿不都艾海提，艾克拜尔·伊拉洪，热依汗古丽·阿布里孜，等. 新疆典型草原土壤腐殖酸组分的变化规律[J]. 核农学报，2012，26(1)：123-128.