

草坪植物对生活垃圾堆肥基质的生理生态响应

赵树兰, 廉 菲, 多立安*

(天津师范大学化学与生命科学学院, 天津 300387)

摘要:以生活垃圾堆肥和土壤(对照)为基质,采用不同播种方式进行草坪建植,研究了堆肥基质对草坪植物光合特性和保护酶系统的影响。结果表明:堆肥能明显地提高草坪植物的净光合速率,第一峰值出现在 9:00,在单播方式下,堆肥基质黑麦草、高羊茅分别比各自对照高出 12.7%、11.4%;黑麦草与早熟禾混播、高羊茅与早熟禾混播分别比对照高出 33.0%、29.6%。堆肥基质黑麦草单播、黑麦草与早熟禾混播表现出比对照较低的日平均蒸腾速率和较高的水分利用效率;而高羊茅单播、高羊茅与早熟禾混播,则呈现比对照较高的日平均蒸腾速率和相似的水分利用效率。以垃圾堆肥为草坪基质,黑麦草表现出高光合、低蒸腾的节水对策;而高羊茅则表现出高光合、高蒸腾的代谢特点。另外,堆肥基质也显著地提高了草坪植物叶片叶绿素含量,单播黑麦草和高羊茅叶片的叶绿素含量显著高于对照($P < 0.05$)。堆肥基质还能显著增强草坪植物叶片 POD、SOD 和 CAT 活性,与对照相比差异均达到显著($P < 0.05$)或极显著水平($P < 0.01$),表明堆肥基质中草坪植物的抗逆境能力显著增强。

关键词:生活垃圾堆肥基质;草坪植物;光合特性;保护酶

文章编号:1000-0933(2009)02-0916-08 中图分类号:Q142, Q945, Q948, X171 文献标识码:A

Responses of turfgrass physioecology to municipal solid waste compost medium

ZHAO Shu-Lan, LIAN Fei, DUO Li-An*

College of Chemistry and Life Sciences, Tianjin Normal University, Tianjin 300387, China

Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(2): 0916 ~ 0923.

Abstract: High efficient and beneficial utilization of municipal solid waste is an important objective for integrated waste management. We investigated the effects of municipal solid waste (MSW) compost on photosynthetic characteristics and protective enzymes of turfgrass. MSW compost was used as the medium and soil as the control, turf was established under different planting patterns. The results suggested that MSW compost significantly improved the net photosynthetic rate (P_n) of the tested turfgrass. The first peak value of P_n appeared at 9:00 AM. Under mono-sowing, the photosynthetic rates of *L. perenne* and *F. arundinacea* in MSW compost medium were 12.7% and 11.4% higher than those of their controls, respectively. The photosynthetic rates increased by 33.0% and 29.6% in *L. perenne*/*P. pratensis* mixture and *F. arundinacea*/*P. pratensis* mixture respectively. The diurnal average transpiration rate (Tr) of *L. perenne*/*P. pratensis* mixture and single *L. perenne* in MSW compost medium is lower than their controls; and the water use efficiency (WUE) of *L. perenne*/*P. pratensis* mixture and single *L. perenne* in MSW compost medium is higher than their controls. However, *F. arundinacea* in MSW compost medium had higher diurnal average Tr than that of the control and with similar WUE to the control. This indicated that, with MSW compost as medium, *L. perenne* exhibited water-saving strategies with high P_n and low Tr , whereas *F. arundinacea* was characterized by high P_n and high Tr . In addition, chlorophyll content in leaves of the turfgrass was remarkably higher in MSW compost medium than in soil medium, especially for single *L. perenne* and *F. arundinacea* with significantly higher chlorophyll contents than control ($P < 0.05$). Moreover, POD, SOD and CAT activities in leaves of the turfgrass were significantly increased by MSW compost medium as compared with control ($P <$

基金项目:天津师范大学滨海新区专项研究计划资助项目(52LE19);天津市科技发展计划资助项目(043100611);国家自然科学基金资助项目(59878033)

收稿日期:2007-08-25; 修订日期:2008-09-01

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: duolian_tjnu@163.com

0.05 or $P < 0.01$), and MSW compost improved the adaptation of the turfgrass to adverse environments.

Key Words: municipal solid waste compost medium; turfgrass; photosynthetic characteristics; protective enzymes

城市生活垃圾的处理与处置已成为当今世界性的环境问题,为此,许多国家都提出生活垃圾的处理处置应遵循资源化利用的原则。堆肥处理是一种被普遍采用且非常有效的生活垃圾处理方法^[1]。研究表明,城市生活垃圾堆肥(简称“堆肥”)含有丰富的有机质、N、有效 P、Ca 和 K 等营养元素,能够提高土壤肥力,改善土壤的理化性质,提高作物产量^[2,3]。因此,堆肥常用来改良土壤结构,提高离子交换量,增加持水力,促进植物生长,同时堆肥化还能降低垃圾的处置费用^[4~7]。尽管堆肥利用潜力很大,但所含的污染物质,如果农用污染物可进入食物链^[8,9]。近年来将堆肥用于草坪及其他园林绿地建设的研究受到关注^[10~12],尤其作为基质用于草坪建植方面,堆肥会促进草坪植物地上生物量的积累及地下根系生长,且对草坪绿度、绿期、色泽等成坪性能也会产生积极影响^[13,14]。本文从光合特性和保护酶系统方面研究了草坪植物在不同播种方式下对堆肥基质的响应,目的是为堆肥基质应用于草坪建植提供科学依据;而这方面尚未见研究报道。

1 材料与方法

1.1 实验地概况与实验材料

实验田位于天津师范大学北院,北纬 39°13′、东经 117°2′,属暖温带半湿润季风型气候,土壤为壤质草甸土。年平均气温 12.3℃,平均降水量 550~680 mm。堆肥来自天津市小淀堆肥处理厂。草坪植物为多年生黑麦草(*Lolium perenne* L.)、高羊茅(*Festuca arundinacea* L.)和草地早熟禾(*Poa pratensis* L.)。

1.2 田间实验设计

将 80 t 的堆肥平铺于实验地上,再镇压使之紧实平坦,基质厚度为 20 cm;实验田面积为 220 m²。在堆肥基质上,取 4 块样地作为培植小区,各小区面积为 4 m × 4 m,间距 20 cm。在土壤基质上设置 4 个 4 m × 4 m 的小区作为对照。草坪植物播种量为:黑麦草 300 g 单播,高羊茅 300 g 单播,黑麦草 200 g 与早熟禾 100 g 混播(黑麦草/早熟禾);高羊茅 200 g 与早熟禾 100 g 混播(高羊茅/早熟禾);播种时间为 5 月 20 日,播种后实施正常水分管理。

1.3 研究方法

1.3.1 堆肥及土壤基质本底测定

堆肥及土壤基质 pH 值、有机质、全氮、饱和含水量测定方法参照文献^[15]:pH 值以水土比 5:1 混合搅匀,采用酸度计测定;有机质含量采用重铬酸钾容量法-外加热法测定;全氮采用浓硫酸-高氯酸消煮,半微量凯式定氮法;饱和含水量采用重量法。各指标测定均为 3 次重复。

1.3.2 生理生态指标测定

草坪植物光合指标于 8 月 10 日开始测定;即从 7:00~17:00 用 LI-6400 光合测定系统每隔 2 h 随机选取固定的叶片测定草坪植物的净光合速率和蒸腾速率,每小区 5 次重复。同时自动记录光合有效辐射(PAR),空气温度、湿度及空气 CO₂ 的日变化;水分利用效率计算参见郑国琦的方法^[16]。

光合指标测定后第 2 天,测定叶绿素含量^[17]:取叶片 0.2~0.5 g 剪碎,用 1:1 的丙酮和无水乙醇浸泡,置于 40℃ 恒温箱中浸提 24 h,再用 VIS-7220 可见分光光度计,分别在波长为 646 nm 和 663 nm 处测吸光值,计算叶绿素含量。

保护酶的提取在 4℃ 条件下进行,准确称取剪碎的样叶 0.5000 g 于预冷研钵中,加入酶的提取液(PBS, pH 7.8),冰浴上研磨成匀浆,在 10000 r·min⁻¹ 下离心 20 min,上清液用于酶的测定。POD 活性采用愈创木酚法^[18],在 25℃ 下直接测定波长 470 nm 处由于愈创木酚氧化而引起吸光值的变化,以每分钟 ΔA_{470} 变化 0.1 为一个酶活单位。SOD 活性采用氮蓝四唑(NBT)光化学还原法^[19],以抑制 NBT 光化还原 50% 为一个酶活单位。CAT 活性测定采用过氧化氢法^[20],在 25℃ 下直接测定波长 240 nm 处由于 H₂O₂ 分解而引起吸光值的下

降速率,以每分钟 ΔA_{240} 变化 0.1 为一个酶活单位。

脯氨酸含量采用茚三酮显色法测定:称取 0.5 g 叶片剪碎,置于大试管中,加入 10 ml 3% 的磺基水杨酸,沸水提取 10 min,冷却后吸取 2 ml 于另一干净带塞试管,加入 2 ml 冰醋酸及 2 ml 酸性茚三酮,沸水中加热 30 min,冷却,用 4 ml 甲苯提取,3000 r/min 离心 5 min,取上层清液于 520 nm 下测吸光值。取样方法为,样方设置在均匀地段,取样重复 3 次,并均匀混合。对于混播草坪,利用黑麦草、高羊茅叶片与早熟禾叶片的差异性,来测定混播方式下黑麦草与高羊茅的各指标;各指标测定均为 3 次重复。

1.4 数据处理

数据分析用 SPSS 12.0 软件进行处理。

2 结果与分析

2.1 基质及主要生态因子背景

由表 1 可知,堆肥基质的有机质和氮素含量明显高于土壤 ($P < 0.01$, t 检验)。较高的有机质含量为水稳态团粒结构的形成提供了物质基础。堆肥饱和含水量比土壤高出 31.0%,Gentilucci 等^[21]发现堆肥可明显提高土壤饱和水及有效水含量,而且在以后的两年中都维持在一个较高的水平;堆肥的理化性质优于土壤,更有利于植物的生长。

表 1 堆肥基质与土壤基质的背景分析

Table 1 Background of MSW compost and soil medium

测定指标 Indics	堆肥基质 Compost medium	土壤基质 Soil medium
pH	7.62 ± 0.04	8.30 ± 0.09
有机质 Organic matter (%)	22.0 ± 0.51	4.68 ± 0.81
全氮 Total N (%)	1.18 ± 0.06	0.21 ± 0.009
饱和含水量 Saturated water holding capacity (ml/g)	0.76 ± 0.09	0.58 ± 0.07

测定期间空气相对湿度在 10.51% ~ 49.77% 之间,7:00 最高,15:00 最低(图 1)。大气温度变化在 20.6 ~ 32.13°C 之间,从 7:00 开始逐渐上升,15:00 达到最高,然后逐渐下降,17:00 为 27.04°C。光照强度在 265 ~ 1477 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 之间变化(图 2),11:00 达到最大,之后逐渐下降。 CO_2 浓度呈下降趋势,从 410.45 $\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$ 降到了 375.72 $\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$,11:00 ~ 15:00 下降较为缓慢,而从 7:00 到 11:00 下降幅度达到 6.8% (图 2)。

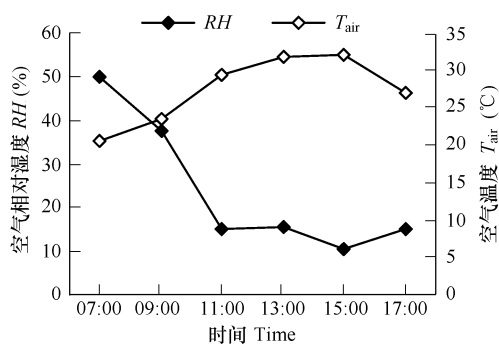


图 1 空气相对湿度和空气温度的日变化

Fig. 1 Diurnal variation in air relative humidity and air temperature

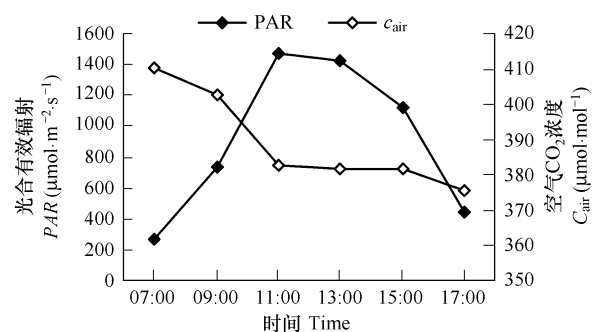


图 2 光合有效辐射和空气二氧化碳浓度的日变化

Fig. 2 Diurnal variation in photosynthetic active radiation and CO_2 concentration

2.2 堆肥对草坪植物光合特性的影响

2.2.1 堆肥对草坪植物叶片净光合速率日进程的影响

草坪植物叶片净光合速率 (P_n) 的日变化均呈双峰型,两个峰值出现在 9:00 和 15:00,在 11:00 或 13:00 出现峰谷,即“午休”现象(图 3)。在炎热夏季, P_n 日进程取决于植物水分状况,水分状况好,气孔开放大, P_n

高,反之亦然。 P_n 第一个高峰出现在水分状况好的时期,其峰值高低在一定程度上反映植物的光合能力^[22]。9:00 时,堆肥处理的黑麦草单播及混播、高羊茅单播及混播草坪, P_n 分别达到 10.97、12.66、12.48、12.44 $\mu\text{molCO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$,分别比各自对照高出 12.7%、33.0%、11.4%、29.6%。 P_n 第二个高峰出现时,各处理与各自对照之间的差异没有第一个峰值差异明显,之后随着气温和光合有效辐射的降低 P_n 逐渐降低,17:00 时处理与对照的 P_n 差异降至最小。

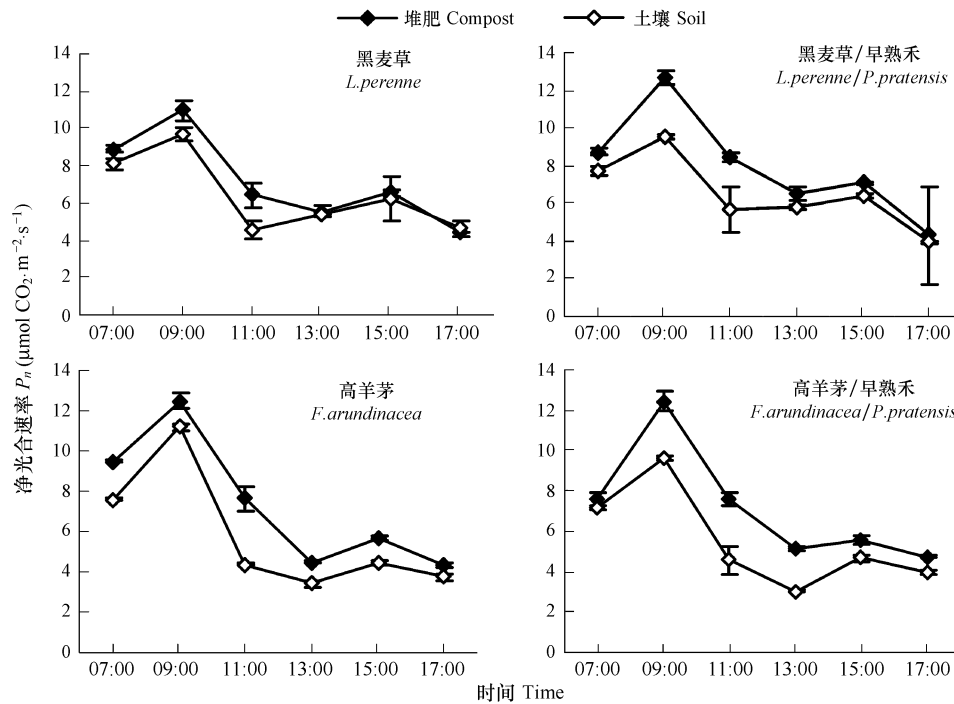


图3 堆肥对草坪植物叶片净光合速率日进程的影响

Fig. 3 Effects of MSW compost on diurnal P_n variation in leaves of turfgrass

2.2.2 堆肥对草坪植物叶片蒸腾速率日进程的影响

与对照相比,堆肥处理的草坪植物蒸腾速率(Tr)日进程有明显差异(图4)。对于黑麦草的单播和混播草坪,堆肥处理比对照表现出较低的 Tr ,堆肥处理的单播黑麦草 Tr 只在上午 9:00 达到峰值,随后很快下降,17:00 时 Tr 仅为 $0.84 \text{ mmolH}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$;而对照的 Tr 随光照和温度的变化波动较小,在 $2.09 \sim 4.13 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 之间变化;堆肥处理的黑麦草混播草坪 Tr 在 11:00 达到峰值,17:00 时下降为 $1.35 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 。然而对于高羊茅单播和混播草坪,堆肥处理比对照呈现出高的 Tr ,11:00 时处理与对照的 Tr 均达到峰值,此时堆肥处理的高羊茅单播及混播草坪比各自对照的 Tr 分别高出 57.5% 和 11.3%。

2.3 堆肥对草坪植物水分利用效率日进程的影响

堆肥处理的黑麦草单播及混播草坪水分利用效率(WUE)除早晨较高外,还在 15:00 出现高峰,比对照分别高出 154.6%、75.6%,对照只在 7:00~9:00 表现为一天的最高,随着光合有效辐射和叶温的增加而迅速降低(图5)。堆肥对高羊茅单播及混播草坪的 WUE 影响较小,对于单播高羊茅,处理和对照的水分利用效率日进程几乎一致;对于高羊茅混播,堆肥处理的 WUE 在 9:00~15:00 之间明显高于对照,在 9:00 时,比对照高 54.4%(图5)。

2.4 堆肥对草坪植物叶绿素含量的影响

叶绿素含量是评价草坪植物的重要指标,它反映草坪的观赏质量,也反映草坪的生长状况^[12]。堆肥处理的草坪植物叶色深绿,与对照相比差异明显,尤其是单播黑麦草和高羊茅叶绿素含量显著高于对照($P < 0.05$, t 检验);说明堆肥对草坪植物叶绿素含量有明显的促进作用(图6)。

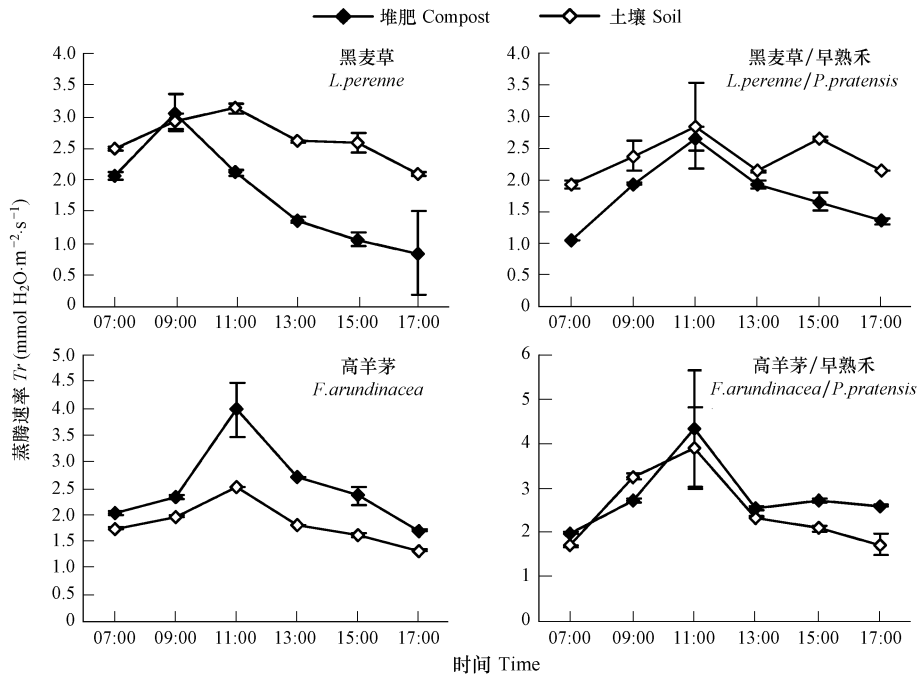


图4 堆肥对草坪植物叶片蒸腾速率日进程的影响

Fig. 4 Effects of MSW compost on diurnal T_r variation in leaves of turfgrass

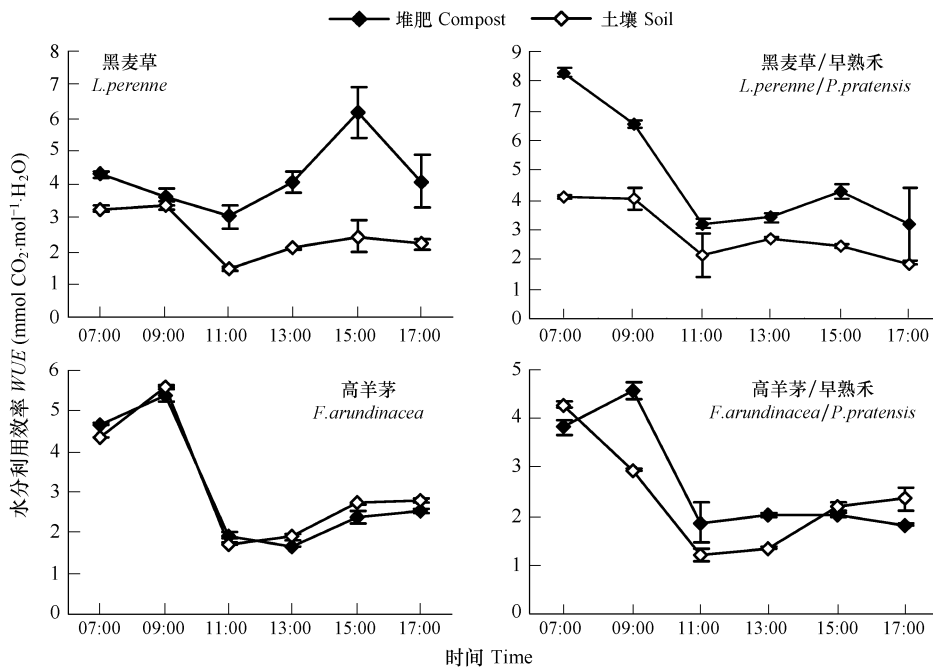


图5 堆肥对草坪植物水分利用效率日进程的影响

Fig. 5 Effects of MSW compost on diurnal WUE variation in leaves of turfgrass

2.5 堆肥对草坪植物保护酶及游离脯氨酸含量的影响

与土壤基质相比,堆肥基质处于高渗透环境下。研究结果也表明,堆肥处理植物叶片中 POD 活性与对照相比明显增加,差异达到显著 ($P < 0.05$, t 检验)或极显著水平 ($P < 0.01$) (表 2)。堆肥处理的草坪植物叶片中 SOD 活性明显大于对照,尤其是堆肥处理的高羊茅与早熟禾混播草坪,其 SOD 活性比对照高出 10.2%,差

异极显著($P < 0.01$)。堆肥处理的黑麦草与早熟禾混播以及高羊茅与早熟禾混播草坪的 CAT 活性与对照相比差异均达到极显著($P < 0.01$)。植物体内脯氨酸含量变化是植物对逆境胁迫的一种生理反应,可作为鉴定植物相对抗性的指标;本研究中黑麦草单播、黑麦草与早熟禾混播、高羊茅单播以及高羊茅与早熟禾混播草坪游离脯氨酸含量分别是对照的 1.22、5.32、4.78 倍和 3.11 倍(表 2)。

3 讨论与结论

堆肥技术是实现垃圾资源化处置的一条重要途径,堆肥可作为复合有机肥料或土壤调节剂来利用^[14]。Landschoot 和 Menitt^[23] 研究发现堆肥可以降低土壤容重及渗透性,并至少在两个生长季内能为草坪生长提供大部分所需的营养。Baker^[24]、范海荣等^[10] 研究表明,与化肥相比,堆肥及其复合肥更能明显提高黑麦草草坪生物量和密度,并改善草坪的质量。本研究表明,黑麦

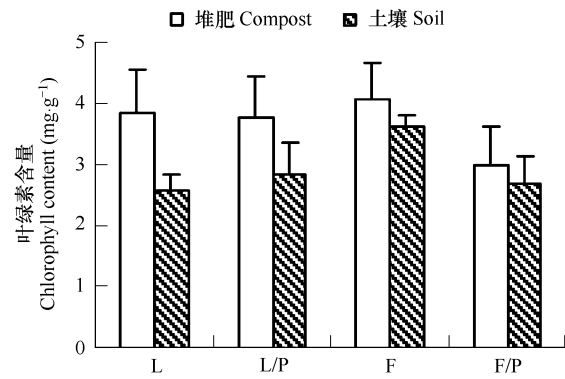


图 6 堆肥对草坪植物叶绿素含量的影响

Fig. 6 Effects of MSW compost on chlorophyll content in leaves of turfgrass

L: 黑麦草单播 Single *L. perenne*, L/P: 黑麦草与早熟禾混播 *L. perenne*/*P. pratensis* mixture, F: 高羊茅单播 Single *F. arundinacea*, F/P: 高羊茅与早熟禾混播 *F. arundinacea*/*P. pratensis* mixture; 下同, the same below

表 2 堆肥对草坪植物保护酶活性以及游离脯氨酸含量的影响

Table 2 Effects of MSW compost on protective enzymes and free proline content of turfgrass

草坪植物 Turfgrass	POD 活性 POD activity ($U \cdot \min^{-1} \cdot g^{-1} FW$)	SOD 活性 SOD activity ($U \cdot g^{-1} FW$)	CAT 活性 CAT activity ($U \cdot \min^{-1} \cdot g^{-1} FW$)	脯氨酸含量 Pro content ($mg \cdot g^{-1} FW$)
黑麦草 L	7793 ± 214	514.3 ± 77.7	287.59 ± 12.3	3.15 ± 0.02
黑麦草对照 L control	4611 ± 847 **	483.4 ± 35.8	229.80 ± 37.51	2.58 ± 0.23 *
黑麦草/早熟禾 L/P	6433 ± 525	540.9 ± 56.8	289.18 ± 13.8	3.46 ± 0.39
黑麦草/早熟禾对照 L/P control	5060 ± 240 *	529.9 ± 72.7	109.15 ± 26.23 **	0.65 ± 0.05 **
高羊茅 F	9307 ± 425	569.5 ± 48.8	333.16 ± 27.09	3.49 ± 0.59
高羊茅对照 F control	7976 ± 359 *	548.3 ± 13.6	286.41 ± 45.8	0.73 ± 0.10 **
高羊茅/早熟禾 F/P	6328 ± 701	551.9 ± 11.0	320.19 ± 33.8	2.77 ± 0.35
高羊茅/早熟禾对照 F/P control	4588 ± 632 *	500.6 ± 9.18 **	167.70 ± 34.8 **	0.89 ± 0.02 **

* $P < 0.05$, * * $P < 0.01$ (两种基质间比较 contrast between two media)

草单播、高羊茅单播、黑麦草与早熟禾混播、高羊茅与早熟禾混播草坪植物的日平均光合速率分别比对照高出 10.9%、26.9%、21.8%、30.3%,并且光合“午休”现象没有对对照明显,说明堆肥能够增强草坪植物对夏季水分匮乏和炎热气候的抗性,积累更多的光合产物。堆肥对草坪植物光合能力的提高可能由于堆肥中含有丰富的氮、磷、钾等营养元素,这与许多研究结论相一致^[25~27]。水分利用效率是由植物的净光合速率和蒸腾速率决定的,即消耗单位重量的水植物所固定的 CO_2 量^[28]。堆肥处理的单播黑麦草水分利用效率平均值比对照高出 71%,黑麦草与早熟禾混播比对照高出 68%;这对植物水分利用效率的提高、适应炎热夏季水分的亏缺以及免受光合器官的破坏具有重要意义,表明施用堆肥能够显著提高植物的萎焉和抗旱能力,其中净光合速率的提高以及蒸腾速率的降低可能是植物抗旱性提高的主要生理机制^[29,30]。在施用堆肥条件下,黑麦草表现出高光合、低蒸腾的节水对策;而高羊茅表现出高光合、高蒸腾的代谢特点,这可能与草坪植物自身特性有关,高羊茅在堆肥基质下需水量会更多以补充高蒸腾而散失的水分,以达到高的光合能力。混播对堆肥基质的生理生态响应比单播更强烈,堆肥处理的黑麦草与早熟禾混播草坪植物日平均净光合速率比对照高 21.8%,而单播黑麦草比对照高 10.9%;高羊茅与早熟禾混播草坪植物比对照高 30.3%,而单播高羊茅比对照高 26.9%。堆肥营养物质丰富,通气、保水性好,能够满足混播草坪中不同草种对空间、水和营养元素的不

同需求,在一定程度上缓解草种间竞争;混播还能够更合理调整其群落结构,光照利用率比单播时充分,所以堆肥施用于混播草坪效果更好。堆肥同时能明显提高草坪植物叶绿素含量^[10,12]。Daniel 等^[31]认为施用堆肥后,草坪植物颜色增加持续时间的差异,可以解释为由于堆肥中氮素含量的不同造成的;张如莲等^[32]也发现随着氮肥施用量的增加,草坪颜色逐渐加深。植物的抗性及对环境的适应与其保护酶含量密切相关,逆境会影响植物的酶促系统,其中 POD、SOD、CAT 是保护酶系统的主要酶^[33];与土壤相比,堆肥基质属高渗系统,因此,堆肥可明显增加草坪植物叶片 POD、SOD 和 CAT 的活性,这与预想结果相吻合。氮水平的提高使植株叶片的渗透调节能力增强,并通过提高植物保护酶系统的活性,来增强植物抵御逆境的能力^[34];此外,本研究中叶片游离脯氨酸含量的显著增加也是草坪植物抗性提高的一个响应。

References:

- [1] Wolkowski R P. Nitrogen management considerations for landspreading municipal solid waste compost. *J. Environ. Qual.*, 2003, 32(5): 1844 – 1850.
- [2] Carmine C, Curci M, Mininni R, *et al.* Short-term effects of municipal solid waste compost amendments on soil carbon and nitrogen content, some enzyme activities and genetic diversity. *Biol. Fertil. Soils*, 2001, 34(5): 311 – 318.
- [3] Soumareé M, Tack F. M G, Verloo M G. Ryegrass response to mineral fertilization and organic amendment with municipal solid waste compost in two tropical agricultural soils of Mali. *Journal of Plant Nutrition*, 2003, 26(6): 1169 – 1188.
- [4] Sartori G, Ferrari A, Pagliai M. Changes in soil porosity and surface shrinkage in a remolded, saline clay soil treated with compost. *Soil Science*, 1985, 139(6): 523 – 530.
- [5] Guidi G, Pera A, Giovannetti M, *et al.* Variations of soil structure and microbial population in a compost amended soil. *Plant and Soil*, 1988, 106: 113 – 119.
- [6] He X T, Traina S J, Logan T J. Chemical properties of municipal solid waste composts. *J. Environ. Qual.*, 1992, 21(3): 318 – 319.
- [7] Kerner H M, Dick W P, Hoitink H A J. Composting and beneficial utilization of composted by-product materials. In: J. F. Power and W. P. Dick eds. *Land application of agricultural, industrial, and municipal by-products*. 2000, SSSA Book Ser. 6. SSSA, Madison, WI.
- [8] Bhattacharyya P, Chakraborty A, Chakrabarti K, *et al.* Chromium uptake by rice and accumulation in soil amended with municipal solid waste compost. *Chemosphere*, 2005, 60(10): 1481 – 1486.
- [9] Jaber F H, Shukla S, Hanlon E A, *et al.* Groundwater phosphorus and trace element concentrations from organically amended sandy and calcareous soils in Florida. *Compost Science and Utilization*, 2006, 14(1): 6 – 15.
- [10] Fan H R, Hua L, Cai D X, *et al.* Effects of municipal waste compost and its compound fertilizers on the turf quality of ryegrass. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25 (10): 2694 – 2702.
- [11] Li Y X, Xue C Z, Chen T B. Use of sewage sludge and refuse compost as medium for sapling cultivation. *Rural Eco-Environment*, 2000, 16(1): 60 – 63.
- [12] Li Y X, Zhao L, Chen T B. The municipal sewage sludge compost used as lawn medium. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(6): 797 – 801.
- [13] Duo L A, Gao Y B, Zhao S L. Heavy metal accumulation of urban domestic rubbish compost in turfgrass by EDTA chelating. *Journal of Environmental Sciences*, 2005, 17(5): 813 – 816.
- [14] Duo L A, Zhao S L. Raising medium function of environmental engineering by using life rubbish to produce carpet turf. *J. Environ. Sci.*, 2000, 12: 498 – 505.
- [15] Bao S D. *Soil and Agricultural Chemistry Analysis*. Beijing: China Agriculture Press, 2000. 31 – 200.
- [16] Zheng G Q, Xu X, Xu Z Z, *et al.* The effect of salt stress on the stomatal and non-stomatal limitation of photosynthesis of *Lycium barbarum*. *Acta Bot. Boreal-Occident. Sin.*, 2002, 22(6): 1355 – 1359.
- [17] Gong F S. *The experiments for plant physiology*. Beijing: Meteorological Press, 1995. 74 – 77.
- [18] Zhang Z L, Qu W Q. *The Experimental Guide for Plant Physiology*. Beijing: Higher Education Press, 2003. 123 – 276.
- [19] Sundar D, Perianayaguy B, Reddy A R. Localization of antioxidant enzymes in the cellular compartments of sorghum leaves. *Plant Growth Regulation*, 2004, 44(2): 157 – 163
- [20] Knörrer O C, Durner J, Böger P. Alterations in the antioxidative system of suspension-cultured soybean cells (*Glycine max*) induced by oxidative stress. *Physiol. Plantarum*, 1996, 97: 388 – 396.
- [21] Gentilucci G, Murphy J A, Zaurov D E, *et al.* Nitrogen requirement for Kentucky bluegrass grown on compost amended soil. *Inter. Turfgrass Soc. Res. J.*, 2001, 9: 382 – 387.

- [22] Ma C C, Gao Y B, Wang J L, *et al.* The comparison studies of photosynthetic characteristics and protective enzymes of *Caragana microphylla* and *Caragana stenophylla*. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(8): 1594—1601.
- [23] Landschoot P A, McNitt A. Improving turf with compost. *BioCycle*, 1994, 35(10): 54—57.
- [24] Baker A V. Evaluation of composts for growth of grass sods. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 2001, 32: 11—12.
- [25] Evans J R. Photosynthesis and nitrogen relationship in leaves of C₃ plants. *Oecologia*, 1989, 78: 9—19.
- [26] Paquin R, Margolis H A, Doucet R, *et al.* Physiological responses of black spruce layers and planted seedlings to nutrient addition. *Tree Physiol*, 2000, 20: 229—237.
- [27] Lima J D, Mosquim P R, Da Matta F M. Leaf gas exchange and chlorophyll fluorescence parameters in *Phaseolus vulgaris* as affected by nitrogen and phosphorus deficiency. *Photosynthetica*, 1999, 37: 113—121.
- [28] Martin C A, Stabler L B. Plant gas exchange and water status in urban desert. *Journal of Arid Environments*, 2002, 51: 235—254.
- [29] Pinamonti F. Compost mulch effects on soil fertility, nutritional status and performance of grapevine. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 1998, 51(3): 239—248.
- [30] Chen T B, Gao D, Li X B. Effects of sewage sludge compost on available nutrients and water retention ability of planting substrate. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(6): 802—807.
- [31] Daniel C G, Michael J B. Temporal effect of compost and fertilizer applications on nitrogen fertility of golf course turfgrass. *Agronomy Journal*, 2001, 93: 548—555.
- [32] Zhang R L, Huang C H, Bai C J. Comprehensive evaluation of the effect of fertilizer application on *Hybrid zoysia* quality during turf stage. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 2003, 24(4): 74—80.
- [33] Khan M H, Singha K L B, Panda S K. Changes in antioxidant levels in *Oryza sativa* L. roots subjected to NaCl salinity stress. *Acta Physiol. Plant*, 2002, 24: 145—148.
- [34] Zhang G S, Zhang R Z, Huang G B, *et al.* Effect of nitrogen, phosphorus nutrition on physiological adjustment of spring wheat seedling under water stress. *Chinese Journal of Applied and Environmental Biology*, 2003, 9(6): 584—587.

参考文献:

- [10] 范海荣, 华璐, 蔡典雄, 等. 城市垃圾堆肥及其复合肥对黑麦草草坪质量的影响. *生态学报*, 2005, 25(10): 2694~2702
- [11] 李艳霞, 薛澄泽, 陈同斌. 污泥和垃圾堆肥用作林木育苗基质的研究. *农村生态环境*, 2000, 16(1): 60~63.
- [12] 李艳霞, 赵莉, 陈同斌. 城市污泥堆肥用作草皮基质对草坪草生长的影响. *生态学报*, 2002, 22(6): 797~801.
- [15] 鲍士旦. 土壤农化分析. 北京: 中国农业出版社, 2000. 31~200.
- [16] 郑国琦, 许兴, 徐兆桢, 等. 盐胁迫对枸杞光合作用的气孔与非气孔限制. *西北植物学报*, 2002, 22(6): 1355~1359.
- [17] 龚富生. 植物生理学实验. 北京: 气象出版社, 1995. 74~77.
- [18] 张志良, 瞿伟菁. 植物生理学实验指导. 北京: 高等教育出版社, 2003. 123~276.
- [22] 马成仓, 高玉葆, 王金龙, 等. 小叶锦鸡儿和狭叶锦鸡儿的光合特性及保护酶系统比较. *生态学报*, 2004, 24(8): 1594~1601.
- [30] 陈同斌, 高定, 李新波. 城市污泥堆肥对栽培基质保水能力和有效养分的影响. *生态学报*, 2002, 22(6): 802~807.
- [32] 张如莲, 黄承和, 白昌军. 施肥对杂交结缕草成坪期草坪质量综合评价. *热带作物学报*, 2003, 24(4): 74~80.
- [34] 张国盛, 张仁陟, 黄高宝, 等. 水分亏缺时氮磷营养对春小麦幼苗抗逆性的影响. *应用与环境生物学报*, 2003, 9(6): 584~587.