

刘海鑫,何建清,徐 东,等. 化肥减量配施园林废弃物堆肥对玉米生长和土壤肥力的影响[J]. 江苏农业科学,2024,52(6):256-264.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2024.06.033

# 化肥减量配施园林废弃物堆肥对玉米生长和土壤肥力的影响

刘海鑫,何建清,徐 东,韩 振,葛彦宏,张格杰  
(西藏农牧学院植物科学学院,西藏林芝 860000)

**摘要:**为探究化肥减量配施园林废弃物堆肥对玉米生长和土壤肥力的影响,试验设 6 个处理:不施肥(CK)、单施化肥(NP100)、单施园林废弃物堆肥(BF100)、化肥减量 10% + 园林废弃物堆肥增施 10%(NP90BF110)、化肥减量 30% + 园林废弃物堆肥增施 30%(NP70BF130)、化肥减量 50% + 园林废弃物堆肥增施 50%(NP50BF150)。结果表明,与 NP100 相比,NP90BF110 对植株生长效果最好,株高、茎粗、根长、根体积、植株鲜重、植株干重分别增加了 39.31%、55.34%、13.82%、101.65%、176.38%、216.69%;与 NP100 相比,NP70BF130 土壤肥力综合效果最好。细菌、真菌、放线菌数量分别增加了 43.31%、63.92%、18.15%,细菌/真菌、放线菌/真菌比值有所降低,有机质含量为 9.42 g/kg,全氮、全磷、全钾、碱解氮、速效磷、速效钾含量分别提高了 30.00%、5.85%、5.77%、45.63%、8.64%、24.46%。研究表明,与单施化肥相比,化肥减量配施适当比例园林废弃物堆肥,能够促进玉米的生长,增加叶片叶绿素含量、土壤氮磷钾含量、土壤孔隙度、土壤持水量、微生物数量、EC 值,降低土壤 pH 值、土壤容重等。本研究结果可为园林废弃物堆肥用作农有机肥提供参考。

**关键词:**化肥减量;玉米;园林废弃物堆肥;土壤肥力

**中图分类号:**S513.06 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2024)06-0256-09

玉米是中国三大粮食作物(水稻、小麦和玉米)之一,兼具粮食、蔬菜、经济、能源功能,在我国工业

和农业经济发展中发挥着重要作用,同时也是西藏林芝地区最重要的粮食作物之一<sup>[1-2]</sup>。随着种植面积的不不断增加,每年都会使用越来越多的化肥来提高玉米的产量,但同时也带来了化肥利用率低、养分流失多等问题<sup>[3]</sup>,造成土壤板结、酸化、碳氮比失衡等,导致土壤病害泛滥,环境污染严重<sup>[4-5]</sup>。近年来,国家高度重视因过量使用化肥而导致的农田土壤污染等问题,出台了各种政策,如实施有机肥替代行动,旨在减少化肥的使用量,提高化肥的使用

收稿日期:2023-05-07

基金项目:西藏自治区重点科技项目(编号:XZ202001ZY0019N);西藏农牧学院研究生创新计划(编号:YJS2022-49、YJS2022-45)。

作者简介:刘海鑫(1998—),女,山西临猗人,硕士研究生,主要从事园林废弃物资源化利用研究。E-mail:2426745174@qq.com。

通信作者:何建清,硕士,教授,硕士生导师,主要从事微生物资源与微生物肥料研究。E-mail:hejianqingxz@163.com。

[26]郭常英,王伟,蒲小剑,等. 种植行距对高寒地区饲用燕麦饲用价值及土壤特性的影响[J]. 草地学报,2023,31(6):1886-1893.

[27]罗 洋,郑洪兵,李瑞平,等. 行距配置对春玉米种植区土壤含水量的影响[J]. 东北农业科学,2017,42(4):1-4.

[28]刘 皓,安晓芹,史宗源,等. 不同改良措施对连作色素万寿菊生长发育及根际土壤环境的影响[J]. 江苏农业科学,2023,51(6):136-143.

[29]Chivenge P, Vanlauwe B, Gentile R, et al. Comparison of organic versus mineral resource effects on short-term aggregate carbon and nitrogen dynamics in a sandy soil versus a fine textured soil[J]. Agriculture Ecosystems & Environment, 2011, 140(3/4):361-371.

[30]孙建波,李成阳,赖炽敏,等. 高寒草甸土壤团聚体碳氮磷对退

化的响应及其影响因素[J]. 草地学报,2023,31(4):1106-1114.

[31]Quan Q, Wang C H, He N P, et al. Forest type affects the coupled relationships of soil C and N mineralization in the temperate forests of northern China[J]. Scientific Reports, 2014, 4(1):6584.

[32]曹亚鑫,程 曼,文永莉. 芦芽山不同植被类型下土壤有机碳矿化特征及其对铁添加的响应[J]. 应用与环境生物学报,2024,30(1):1-10.

[33]Katschnig D, Broekman R, Rozema J. Salt tolerance in the halophyte *Salicornia dolichostachya* Moss: growth, morphology and physiology[J]. Environmental and Experimental Botany, 2013, 92(1):32-42.

[34]李艳迪,郭建荣,王宝山. 钠盐和氯化物对真盐生植物盐地碱蓬营养生长的影响[J]. 植物生理学报,2018,54(3):421-428.

效率<sup>[6-11]</sup>。一些研究表明,将园林废弃物堆肥与化肥配合使用,不仅可以满足土壤肥料和常规作物生产的养分需求,还可以充分利用自然资源,调节土壤结构,保护土壤环境和生态系统,提高土壤保肥能力,促进农业的可持续发展<sup>[12-14]</sup>。余韵等通过田间施肥试验表明,在土壤中施加园林废弃物堆肥对于高楸树苗木生长指标和叶绿素含量有显著影响,并在一定程度上提高了高楸苗木养分含量和浓度<sup>[15]</sup>。贺坤等将园林废弃物堆肥与烟气脱硫石膏按不同比例混合后施于滨海盐碱地,显著降低了滨海盐碱地的 pH 值和全盐含量,增加了土壤养分和有机质含量,提高了地上植物生物量<sup>[16]</sup>。连鹏等在土壤中施加园林废弃物堆肥,能调节土壤微生物群落,提高土壤微生物活性<sup>[17]</sup>。园林废弃物堆肥具有容重低、孔隙度高、有机质含量高、氮磷钾元素含量高等优点。目前,在花卉栽培、林木容器育苗和屋顶绿化基质材料中使用园林废弃物堆肥作为泥炭的替代品已被广泛研究<sup>[18-21]</sup>,但其在农作物生产中的应用仍然较少。为此,本研究以玉米为对象,通过盆栽试验,探讨化肥减量配施园林废弃物堆肥不同施用水平对玉米生长及土壤肥力的影响,并运用隶属函数法对玉米生长指标进行综合评价,筛选出适宜玉米生长的配方,为园林废弃物堆肥今后在农作物生产中的应用提供理论依据和技术参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试材料

供试的玉米种子品种为糯加甜 2000。土壤为西藏自治区林芝市米瑞乡农田土,土壤理化性质为:pH 值 7.77、有机质含量 2.99 g/kg、全氮含量 0.17 g/kg、全磷含量 1.47 g/kg、全钾含量 15.86 g/kg、碱解氮含量 24.09 mg/kg、速效磷含量 5.70 mg/kg、速效钾含量 90.19 mg/kg;施用化肥,尿素:总氮含量  $\geq 46.0\%$ 、过磷酸钙(有效磷  $P_2O_5$  含量  $\geq 12.0\%$ )、水溶性磷( $P_2O_5$  含量  $\geq 7.0\%$ )、硫(S 含量  $\geq 8.0\%$ );园林废弃物堆肥的理化性质:pH 值 7.54、含水量 31.24%、有机质含量 264.14 g/kg、全氮含量 9.35 g/kg、全磷含量 1.86 g/kg、全钾含量 19.97 g/kg、碱解氮含量 521.98 mg/kg、速效磷含量 658.10 mg/kg、速效钾含量 4 291.56 mg/kg。

### 1.2 试验设计

采用盆栽试验,设置 6 个处理:不施肥(CK)、单施化肥(NP100,尿素 1.20 g/盆、过磷酸钙

1.80 g/盆)、单施园林废弃物堆肥(BF100,园林废弃物堆肥 60 g/盆)、化肥减量 10% + 园林废弃物堆肥增施 10% (NP90BF110,尿素 1.08 g/盆、过磷酸钙 1.62 g/盆、园林废弃物堆肥 66 g/盆)、化肥减量 30% + 园林废弃物堆肥增施 30% (NP70BF130,尿素 0.84 g/盆、过磷酸钙 1.26 g/盆、园林废弃物堆肥 78 g/盆)、化肥减量 50% + 园林废弃物堆肥增施 50% (NP50BF150,尿素 0.60 g/盆、过磷酸钙 0.90 g/盆、园林废弃物堆肥 90 g/盆)。每个处理 3 次重复,共计 18 组处理。供试盆钵的上口径为 30 cm,下口径为 17 cm,高为 17 cm,每盆装入土壤 6 kg。用 10% 次氯酸钠进行玉米种子消毒处理,将消毒好的种子置于 25 ℃ 进行 48 h 的催芽,挑选萌发一致的玉米种子进行种植,每盆种植 4 株。60 d 后取植株和盆中土壤样品测定各指标。

### 1.3 测定指标及方法

采用卷尺测量植株株高、根长;游标卡尺测量茎粗;根体积采用排水法测定;植株生物量采用烘干法测定;植株光合色素含量采用紫外分光光度计<sup>[22]</sup>测量;土壤理化性质参照《土壤农化分析》中的方法<sup>[23]</sup>进行测定。采用 pH 计测定土壤 pH 值;电导率仪测定土壤 EC 值;烘干法测定土壤含水量;土壤容重、孔隙度采用环刀法测定;重铬酸钾容量法测定土壤有机质含量;凯氏定氮仪测定土壤全氮、碱解氮含量;钼锑抗比色法测定土壤全磷、速效磷含量;火焰分光光度计测定土壤全钾、速效钾含量。土壤细菌、放线菌及真菌数量分别于 LB 培养基、高氏一号培养基、PDA 培养基采用平板计数法<sup>[24]</sup>测定。

### 1.4 数据分析

数据均采用 Excel 软件进行整理和作图,SPSS 软件进行 ANOVA 方差分析,多重比较 ( $LSD, \alpha = 0.05$ )。

## 2 结果与分析

### 2.1 化肥减量配施园林废弃物堆肥对玉米生长的影响

由表 1 可知,和 CK、NP100 处理相比,化肥减量配施园林废弃物堆肥均可以提高玉米生长指标,且与 CK、BF100 处理之间差异性显著 ( $P < 0.05$ )。株高分别较 CK、NP100 增加了 131.23% ~ 136.90%、35.98% ~ 39.31%,其中, NP90BF110 处理效果最好,其次是 NP50BF150 处理, NP50BF150 处理相较于 CK、NP100 分别增加了 131.77%、36.30%;不同

施肥处理茎粗整体趋势为 NP90BF110 > NP50BF150 > NP70BF130 > BF100 > NP100 > CK, NP90BF110、NP70BF130、NP50BF150 处理分别较 CK、NP100 处理增加 143.65%、131.98%、135.28%, 55.34%、47.90%、50.00%; 减量化肥配施园林废弃物堆肥处

理玉米根长分别较 CK、NP100、BF100 增加了 68.86% ~ 78.94%、7.40% ~ 13.82%、23.25% ~ 30.61%; NP90BF110、NP70BF130、NP50BF150 根体积分别较 CK、NP100 增加了 404.13%、425.00%、480.00%、101.65%、110.00%、132.00%。

表 1 不同施肥处理对玉米生长指标的影响

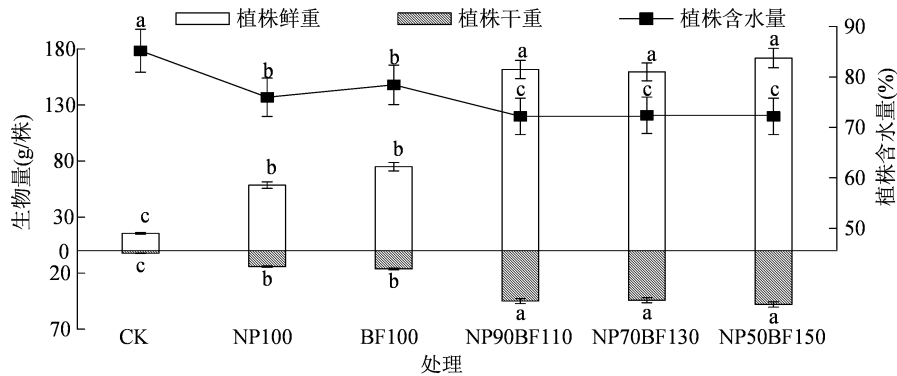
处理	株高 (cm)	茎粗 (mm)	根长 (cm)	根体积 (cm <sup>3</sup> )
CK	36.86 ± 2.81c	3.94 ± 0.08c	37.89 ± 3.86c	8.00 ± 0.58c
NP100	62.68 ± 5.13b	6.18 ± 0.34b	59.57 ± 0.86ab	20.00 ± 1.15b
BF100	67.03 ± 2.22b	6.22 ± 0.15b	51.91 ± 6.20b	29.33 ± 4.81b
NP90BF110	87.32 ± 4.62a	9.60 ± 0.23a	67.80 ± 4.15a	40.33 ± 0.88a
NP70BF130	85.23 ± 4.81a	9.14 ± 0.44a	63.98 ± 1.80a	42.00 ± 1.15a
NP50BF150	85.43 ± 4.47a	9.27 ± 0.43a	67.43 ± 0.69a	46.40 ± 6.45a

注: 同列数据后不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著。表 2 至表 5 同。

2.2 化肥减量配施园林废弃物堆肥对玉米生物量的影响

由图 1 可知, 化肥减量配施园林废弃物堆肥可增加玉米的生物量。和 CK、NP100 处理相比较, NP90BF110、NP70BF130、NP50BF150 处理玉米植株鲜重分别增加 932.08% ~ 1 012.16%、172.71% ~ 193.86%, 其中, NP50BF150 处理效果最好, 其次为 NP90BF110 处理, NP90BF110 处理分别较 CK、

NP100 处理增加 945.99%、176.38%; 和 CK、NP100 处理相比较, 玉米植株干重分别增加了 1 822.61% ~ 1 984.35%、211.41% ~ 237.61%, 整体趋势为 NP50BF150 > NP90BF110 > NP70BF130 > BF100 > NP100 > CK, 减量化肥处理植株鲜重、干重以及含水量与 CK、NP100、BF100 处理之间差异性显著 ( $P < 0.05$ )。



不同小写字母表示处理间差异显著 ( $P < 0.05$ )。下图同  
图1 不同施肥处理玉米植株生物量

2.3 化肥减量配施园林废弃物堆肥对玉米光合色素的影响

由表 2 可知, 化肥减量配施生物园林废弃物堆肥提高了玉米叶绿素 a、叶绿素 b 和类胡萝卜素含量, 单施化肥相较于单施园林废弃物堆肥更容易提高玉米叶片内光合色素的含量。NP70BF130 处理叶绿素 a 含量相较于其他处理差异性显著 ( $P < 0.05$ ), NP70BF130 处理叶绿素 a、叶绿素 b 含量相较于 CK、NP100 处理分别增加了 175.19%、

278.63%、6.73%、17.54%; 减量化肥处理类胡萝卜素含量相较于 CK、BF100 处理差异性显著 ( $P < 0.05$ ), NP90BF110、NP70BF130 处理类胡萝卜素含量相较于 CK、BF100 处理分别增加了 109.52%、94.71%、79.19%、66.52%; 总叶绿素含量整体趋势为 NP70BF130 > NP50BF150 > NP90BF110 > NP100 > BF100 > CK; NP70BF130 处理相较于其他处理差异性显著 ( $P < 0.05$ ); 相较于 CK、NP100 处理总叶绿素含量分别增加了 192.3%、8.87%。不

论化肥减量还是园林废弃物堆肥增量都需要适量 量,最终实现增产提质的效果。  
才有利于促进玉米的光合能力,提高光合色素总

表 2 不同施肥处理对玉米叶片内光合色素含量的影响

处理	叶绿素 a 含量 (mg/g)	叶绿素 b 含量 (mg/g)	类胡萝卜素含量 (mg/g)	总叶绿素(a + b) 含量 (mg/g)
CK	6.45 ± 0.12d	1.31 ± 0.01d	1.89 ± 0.03b	7.76 ± 0.00d
NP100	16.63 ± 0.31b	4.22 ± 0.11b	3.59 ± 0.19a	20.85 ± 0.40b
BF100	9.33 ± 0.36c	2.34 ± 0.23c	2.21 ± 0.11b	11.67 ± 0.57c
NP90BF110	16.61 ± 0.46b	4.37 ± 0.35ab	3.96 ± 0.15a	20.98 ± 0.81b
NP70BF130	17.75 ± 0.05a	4.96 ± 0.10a	3.68 ± 0.06a	22.71 ± 0.11a
NP50BF150	16.80 ± 0.15b	4.52 ± 0.18ab	3.96 ± 0.06a	21.32 ± 0.30ab

2.4 化肥减量配施园林废弃物堆肥对玉米根际土壤微生物量的影响

由表 3 可以看出,施用化肥和园林废弃物堆肥均可促进土壤中微生物数量的增加。NP90BF110、NP70BF130、NP50BF150 与 CK 相比,细菌数量分别提高了 152.82%、167.06%、136.50%。增施相应量园林废弃物堆肥相较于其他处理提高了土壤中真菌的数量,NP70BF130 与 CK、NP100、BF100 相比真菌数量分别显著增加 224.93%、63.92%、102.40%;NP50BF150 与 CK、NP100、BF100 相比真菌数量分别增加 202.67%、52.69%、88.54%;化肥

减量 50%降低了土壤中真菌的数量;增加园林废弃物堆肥与单施化肥相比对于放线菌的数量影响不大,与 CK 相比较具有显著差异 ( $P < 0.05$ ),NP90BF110、NP70BF130、NP50BF150 与 CK 相比放线菌数量分别显著增加 162.37%、151.53%、130.17%;BF100 与 NP100 相比放线菌数量降低了 33.60%;B/F、A/F 值越大表明土壤健康性越高,对于土壤土传病害的抗病性就越强,单施园林废弃物堆肥增加了 B/F 值,但化肥减量配施园林废弃物堆肥使得 B/F、A/F 值下降,降低了土壤抗病性。

表 3 不同施肥处理对玉米土壤微生物量的影响

处理	数量			数量比值	
	细菌数量 ( $\times 10^5$ CFU/g)	真菌数量 ( $\times 10^3$ CFU/g)	放线菌数量 ( $\times 10^3$ CFU/g)	细菌/真菌 (B/F)	放线菌/真菌 (A/F)
CK	3.37 ± 0.42b	0.337 ± 0.042d	2.95 ± 0.43c	1.00	0.88
NP100	6.28 ± 0.72a	0.668 ± 0.103bcd	6.28 ± 0.67ab	0.94	0.94
BF100	7.08 ± 0.86a	0.541 ± 0.111cd	4.17 ± 0.44bc	1.31	0.77
NP90BF110	8.52 ± 1.03a	0.892 ± 0.145abc	7.74 ± 0.99a	0.96	0.87
NP70BF130	9.00 ± 1.11a	1.095 ± 0.225a	7.42 ± 1.07a	0.82	0.68
NP50BF150	7.97 ± 0.79a	1.020 ± 0.054ab	6.79 ± 0.58a	0.78	0.67

2.5 化肥减量配施园林废弃物堆肥对土壤物理性质的影响

由表 4 可知,施加化肥、园林废弃物堆肥均可显著降低土壤容重,显著增加土壤孔隙度 ( $P < 0.05$ ),与 CK、NP100 处理相比较,玉米土壤容重分别降低了 15.18% ~ 17.86%、12.84% ~ 15.60%;孔隙度能很好地反映基质的通气和水分平衡状况,水气孔隙比能够反映基质间水和气的状态,如果水气孔隙比大,说明基质持水量大,贮水力强,通气性就弱;反之,持水量小,贮水力弱,通气性就强。和 CK、NP100 处理相比较,化肥减量配施园林废弃物堆肥

玉米土壤孔隙度分别增加了 11.48% ~ 13.18%、8.82% ~ 10.48%;减量化肥处理与 CK、NP100 处理相比土壤通气孔隙差异性显著 ( $P < 0.05$ ),NP90BF110、NP70BF130、NP50BF150 与 CK 相比分别增加了 22.18%、23.57%、22.46%;与 CK、NP100 处理相比持水孔隙分别增加 6.00% ~ 9.12%、5.18% ~ 8.28%。土壤水气孔隙比整体趋势为 CK > NP100 > NP90BF110 > NP50BF150 > NP70BF130 > BF100;施加园林废弃物增加了土壤通气性。园林废弃物堆肥替代部分化肥提高了土壤的透气性和保水能力,能够减少植物在生长过程中

表 4 不同施肥处理对玉米土壤物理性质的影响

处理	土壤容重 (g/cm <sup>3</sup> )	土壤孔隙度 (%)	土壤通气孔隙 (%)	土壤持水孔隙 (%)	水气孔隙比
CK	1.12 ± 0.01a	57.67 ± 0.31b	17.99 ± 0.29b	39.68 ± 0.22bc	2.21 ± 0.04a
NP100	1.09 ± 0.01a	59.08 ± 0.56b	19.09 ± 0.24b	39.99 ± 0.52bc	2.10 ± 0.04ab
BF100	1.07 ± 0.01a	59.52 ± 0.19b	20.77 ± 0.66a	38.75 ± 0.84c	1.87 ± 0.10b
NP90BF110	0.92 ± 0.02b	65.27 ± 0.75a	21.98 ± 0.86a	43.30 ± 1.58a	1.98 ± 0.14ab
NP70BF130	0.95 ± 0.02b	64.29 ± 0.85a	22.23 ± 0.64a	42.06 ± 0.34ab	1.89 ± 0.05b
NP50BF150	0.92 ± 0.02b	65.18 ± 0.78a	22.03 ± 0.18a	43.15 ± 0.60a	1.96 ± 0.01ab

受干旱胁迫的影响程度。

2.6 化肥减量配施园林废弃物堆肥对土壤基本化学性质的影响

pH 值是影响植物生长和养分吸收的重要环境因素之一,过高或过低会严重影响作物的生长和品质。如图 2 所示,施加园林废弃物堆肥可以降低土壤 pH 值,并且随着化肥减量的增多和有机质含量的增加 pH 值呈现下降趋势并逐渐趋于中性。

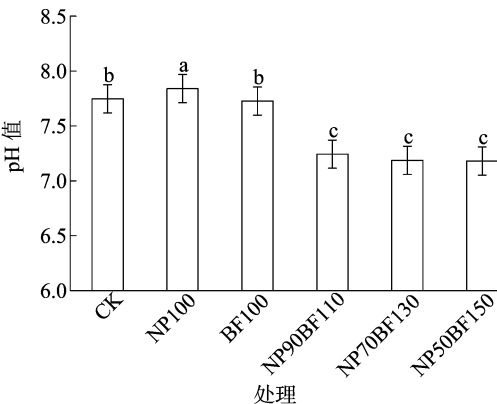


图2 不同堆肥处理玉米土壤 pH 值

EC 值是基质浸提液中可溶性盐浓度指标,反映基质中可溶性养分含量,EC 值过高会构成渗透逆境导致植物盐害。有研究认为,理想基质 EC 值 ≤ 2 600 μS/cm,适量的园林废弃物堆肥可以增加土壤的电导率,但化肥减量过多即使施加相应的园林废弃物堆肥也会造成电导率的下降;EC 值的整体趋势为 NP90BF110 > NP70BF130 > NP50BF150 > BF100 > NP100 > CK,CK 处理与减量化肥处理差异显著 ( $P < 0.05$ ),与 CK、NP100 相比 NP90BF110、NP70BF130、NP50BF150 电导率分别增加了 72.51%、66.05%、50.14%,51.95%、46.26%、32.25%;且 BF100 与 NP100 相比显著增加 8.22%。说明园林废弃物堆肥能提供更多的可溶性盐方便植物吸收利用,有利于植物的生长。

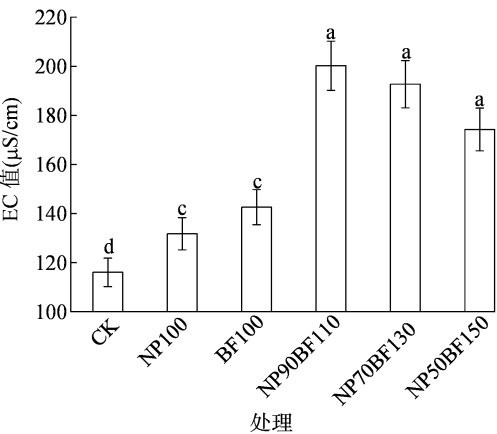


图3 不同堆肥处理玉米土壤 EC 值

2.7 化肥减量配施园林废弃物堆肥对土壤有机质和养分含量的影响

由表 5 可知,施加化肥、园林废弃物堆肥以及减量化肥配施园林废弃物堆肥整体显著提高了根际土壤有机质和土壤养分的含量,除 CK 外其余处理之间有机质含量差异不显著 ( $P < 0.05$ ),与 CK 相比化肥配施园林废弃物堆肥有机质含量增加 92.42% ~ 98.32%;有机质、全磷和速效钾含量均随减增配比的增大呈先升高后降低的趋势,即减增配比为 30% 时效果相对较好;NP70BF130、NP50BF150 处理全氮含量分别较 CK、NP100 增加了 116.67%、133.33%、30.00%、40.00%;全磷含量的整体趋势为 BF100 > NP70BF130 > NP90BF110 > NP100 > NP50BF150 > CK;化肥减量配施生物园林废弃物堆肥处理与 NP100 相比差异不显著, NP90BF110、NP70BF130 相较于 CK 全磷含量增加 43.84%、48.63%;和 CK、NP100 处理相比较,土壤全钾含量分别增加 47.43% ~ 59.76%、5.77% ~ 14.62%,其中, NP50BF150 处理效果最好,其次为 NP90BF110 处理;随着化肥减量的增多碱解氮含量逐渐下降, NP90BF110、NP70BF130 相较于 CK、NP100 碱解氮含量分别增加 262.36%、247.22%,51.98%、

45.63% ; NP90BF110、NP70BF130、NP50BF150 速效磷含量较 CK、NP100 分别增加 52.78%、50.43%、71.37% , 10.34%、8.64%、23.77% ; 和 CK、NP100 处理相比较, 土壤速效钾含量分别增加 32.77% ~

51.80%、8.86% ~24.46%。以上结果表明, 减量化肥配施园林废弃物堆肥可显著提高根际土壤速效养分的含量。

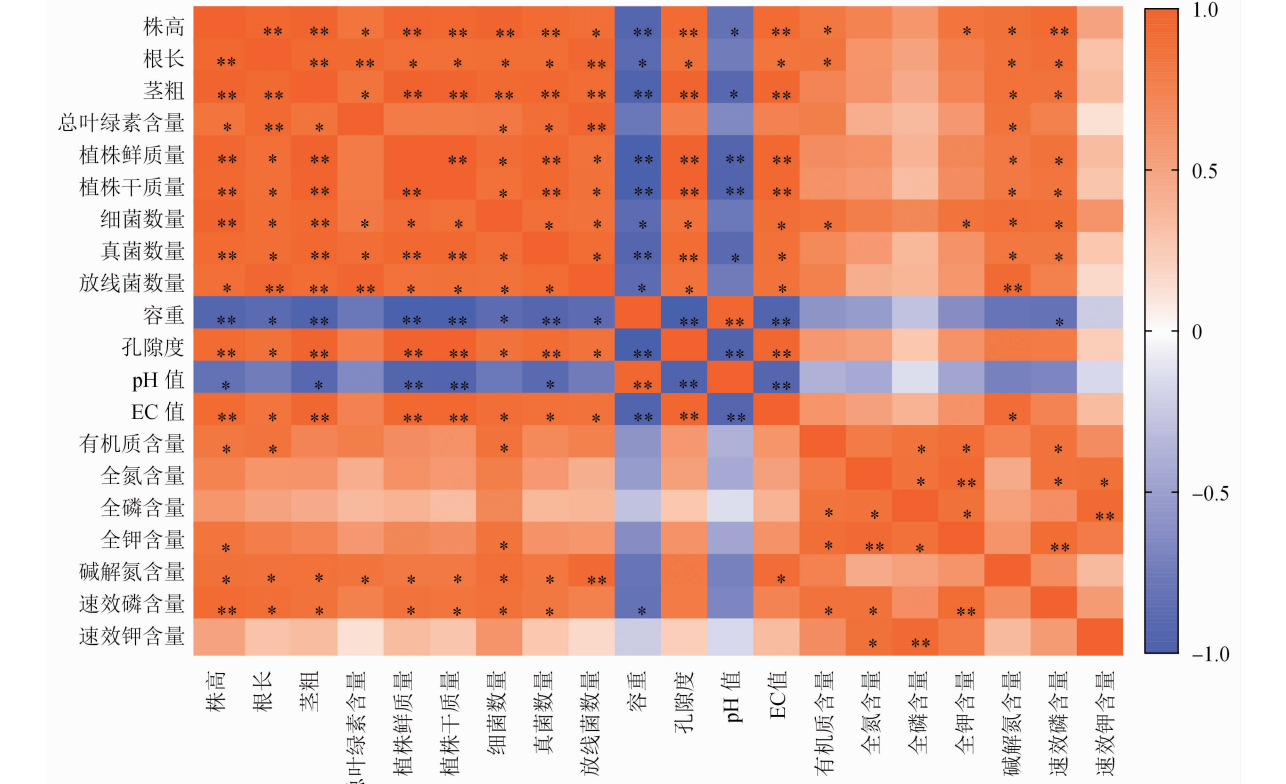
表 5 不同施肥处理对玉米土壤养分的影响

处理	有机质含量 (g/kg)	全氮含量 (g/kg)	全磷含量 (g/kg)	全钾含量 (g/kg)	碱解氮含量 (mg/kg)	速效磷含量 (mg/kg)	速效钾含量 (mg/kg)
CK	4.75 ± 0.43b	0.06 ± 0.01c	1.46 ± 0.01c	11.68 ± 0.63d	39.56 ± 1.90d	4.68 ± 0.15d	121.84 ± 9.28d
NP100	9.52 ± 0.42a	0.10 ± 0.01bc	2.05 ± 0.15b	16.28 ± 0.33c	94.32 ± 1.88c	6.48 ± 0.11c	148.60 ± 3.25c
BF100	9.30 ± 0.34a	0.15 ± 0.01a	2.48 ± 0.09a	19.14 ± 0.18a	78.02 ± 2.16d	6.87 ± 0.16bc	219.48 ± 4.60a
NP90BF110	9.39 ± 0.34a	0.11 ± 0.01abc	2.10 ± 0.03b	18.14 ± 0.27ab	143.35 ± 2.01a	7.15 ± 0.20b	164.16 ± 2.74c
NP70BF130	9.42 ± 0.35a	0.13 ± 0.02ab	2.17 ± 0.10b	17.22 ± 0.77bc	137.36 ± 2.01b	7.04 ± 0.27bc	184.95 ± 4.85b
NP50BF150	9.14 ± 0.37a	0.14 ± 0.02ab	1.96 ± 0.03b	18.66 ± 0.28ab	93.16 ± 0.41c	8.02 ± 0.16a	161.77 ± 4.66c

2.8 化肥减量配施园林废弃物堆肥土壤物理与化学性质相关性分析

研究化肥减量配施园林废弃物堆肥的肥力特征, 对植株生长指标与土壤微生物以及土壤理化性质之间的关系进行分析, 揭示它们之间的相互作用

以及影响。由图 4 可知, 植株生长指标、叶绿素含量与土壤微生物数量相关性显著且均为正相关; 且与土壤物理性质相关性显著; 植株生长指标与土壤 pH 值、EC 值、有机质含量、全钾含量、碱解氮含量、速效磷含量等土壤化学性质相关性显著。



\*、\*\* 分别表示在 0.05、0.01 水平上显著相关

图4 不同施肥处理玉米土壤物理与化学性质相关性分析

2.9 化肥减量配施园林废弃物堆肥对土壤影响的综合评价分析

本研究选用土壤容重、孔隙度、pH 值、EC 值、有

机质、全氮、全磷、全钾、碱解氮、速效磷、速效钾含量作为肥力指标, 进行土壤肥力综合评价, 计算分肥力系数, 采用主成分分析计算各因子对土壤肥力

影响的次序,主因子的权重则根据特征值的累计贡献率来确定。土壤肥力特征的主成分特征值如表 6 所示,第 1 主成分的方差贡献率最大,达到了 69.48%,是主要的分析成分,为第 2 主成分的 3.18 倍。通过求和,前 2 个主成分的累计方差贡献率为 91.33%。第 1 主成分除容重、pH 值外其余特征向量呈现正值,与主成分保持一致,第 1 主成分增大,

表 6 主成分分析结果

主成分	特征值	方差贡献率 (%)	累计方差贡献率 (%)	各指标权重系数										
				容重	孔隙度	pH 值	EC 值	有机质含量	全氮含量	全磷含量	全钾含量	碱解氮含量	速效磷含量	速效钾含量
1	7.64	69.48	69.48	-0.86	0.86	-0.75	0.88	0.87	0.84	0.73	0.91	0.83	0.94	0.66
2	2.40	21.85	91.33	0.50	-0.50	0.60	-0.43	0.31	0.45	0.66	0.35	-0.27	0.04	0.66

表 7 得分系数矩阵

评价指标	得分系数	
	主成分 1	主成分 2
容重	-2.38	0.77
孔隙度	2.37	-0.78
pH 值	-2.08	0.94
EC 值	2.42	-0.66
有机质含量	2.40	0.48
全氮含量	2.33	0.69
全磷含量	2.02	1.02
全钾含量	2.52	0.54
碱解氮含量	2.30	-0.42
速效磷含量	2.60	0.06
速效钾含量	1.81	1.02

表 8 各处理的综合得分

处理	得分系数		综合得分	排名
	主成分 1	主成分 2		
CK	-38.27	-2.30	-27.09	6
NP100	-10.08	2.11	-6.54	5
BF100	4.30	6.66	4.44	4
NP90BF110	15.10	-3.07	9.82	2
NP70BF130	14.99	-1.43	10.10	1
NP50BF150	13.96	-1.96	9.27	3

3 讨论

3.1 化肥减量配施园林废弃物堆肥对玉米植株生长指标的影响

本研究中化肥减量配施园林废弃物堆肥有助于生长指标的增加,但随着化肥减量和有机肥施用量的增多,玉米株高整体呈下降趋势,这是由于施

土壤肥力提高。而第 2 主成分中权重系数较低,甚至孔隙度、EC 值、碱解氮含量出现了负值,第 2 主成分因贡献率较小,仅作为参考(表 7)。土壤肥力的综合评价(表 8)得出,减量化肥增施相应量的园林废弃物堆肥有利于土壤肥力的提高,但增施过多会导致土壤肥力下降。

肥过量超过了植株吸收需求,降低了肥料的利用率,影响植株生长。这与王赫等的研究结果<sup>[25-26]</sup>一致,其研究表明,化肥减施、有机肥配施均能显著促进辣椒生长,提高辣椒植株的株高、开展度和辣椒果实产量。施全勇等研究表明,用生物有机肥代替化肥的施肥方式可以降低化肥的施用量,有利于番茄果实的生长和品质的提高<sup>[27]</sup>。本研究结果表明,化肥减量配施园林废弃物堆肥有助于光合色素的增加,但化肥减量过多使得光合色素含量下降, NP50BF150 处理总叶绿素含量有所下降,这是由于植株光合作用与氮素供应水平关系密切,化肥减量过多导致氮素供应不足造成植株光合作用下降,适量增施氮肥和有机肥可增强植株光合作用,且利于延缓叶片衰老。化肥减量配施园林废弃物堆肥可以促进光合产物向生殖器官输送,增加了玉米生物量,生物量是作物光合作用的产物,这与侯丽丽等的研究结果<sup>[28]</sup>一致。李春喜等研究发现,有机肥处理可显著提高小麦干物质积累量(除成熟期外)<sup>[29]</sup>。

3.2 化肥减量配施园林废弃物堆肥对玉米土壤微生物的影响

土壤微生物是土壤生态系统的重要组成部分,是评价土壤肥力的重要指标<sup>[30]</sup>。本研究结果表明,化肥减量配施园林废弃物堆肥增加了土壤微生物的数量,这与宋以玲等的研究结果<sup>[31]</sup>一致。研究表明,生物有机肥不仅能提供微生物生长繁殖所需的有机营养物质,而且含有大量的功能菌,对土壤土著微生物有一定的活化作用。但减量化肥处理 B/F、A/F 比值有所降低,这与王宁等的研究结

果<sup>[32]</sup>相矛盾,这与土壤中微生物生长对有机养分的不同需求有关,园林废弃物堆肥中的大量微生物可以分解和释放土壤中的有机质和矿物质,改善土壤性质,刺激土壤真菌的生长和繁殖。田夏琼等的研究表明,在短期内增施适量的有机肥可以造成土壤细菌群落和功能的改变<sup>[33]</sup>。

### 3.3 化肥减量配施园林废弃物堆肥对玉米土壤理化性质的影响

本研究表明,化肥减量配施园林废弃物堆肥可以降低土壤容重,增加土壤孔隙度,提高土壤的透气性和保水能力,与以往的研究结果<sup>[34]</sup>一致。原因是生物有机肥含有丰富的有机质,生物有机肥中的有机质进入土壤发生分解和转化作用,形成多糖和腐殖质等松软、多孔物质,增加土壤孔隙度,进而降低土壤容重<sup>[35-36]</sup>。如克艳木·买提·司地克等的研究表明,相比于单施化肥,化肥配施生物有机肥能够提高土壤大团聚体含量,可改善梨园土壤结构<sup>[37]</sup>。刘丽媛等研究发现,氮肥配施有机肥能降低土壤容重<sup>[38]</sup>。

化肥减量配施园林废弃物堆肥可以降低土壤 pH 值,提高土壤 EC 值,与戴良香等的研究结果<sup>[39-41]</sup>一致。化肥减量配施园林废弃物堆肥均能增加土壤中有机质、氮、磷、钾含量,这与邱吟霜等的研究结果<sup>[42-43]</sup>相似。主要是因为有机肥含有大量有机质且有机质分解产生氮、磷、钾等养分,与单施化肥相比,化肥减量配施园林废弃物有机质含量有所降低,主要是因为有机肥可通过提高功能细菌的活性来加快分解土壤外源有机质而达到释放氮、磷、钾的功效,同时活化土壤中难溶态氮、磷、钾等养分能够长效提供作物所需养分<sup>[44-45]</sup>。

## 4 结论

### 4.1 化肥减量配施园林废弃物堆肥对玉米植株生长指标的影响

化肥减量配施园林废弃物堆肥较单施化肥可增加玉米的株高、茎粗、根长、根体积、玉米鲜重、干重,分别提高了 35.98% ~ 39.31%、47.90% ~ 55.34%、7.40% ~ 13.82%、101.65% ~ 132.00%、172.71% ~ 193.86%、211.41% ~ 237.61%,其中株高、茎粗、根长增加最好的是 NP90BF110 处理,根体积、植株鲜重和干重增加最好的是 NP50BF150 处理,总叶绿素含量提高了 0.62% ~ 8.87%,整体趋势为 NP70BF130 > NP50BF150 > NP90BF110 > NP100 >

BF100 > CK。

### 4.2 化肥减量配施园林废弃物堆肥对玉米土壤微生物的影响

化肥减量配施园林废弃物堆肥较单施化肥可增加玉米土壤微生物数量。和单施化肥比较,细菌、真菌、放线菌数量分别增加 26.91% ~ 43.31%、33.53% ~ 63.92%、8.12% ~ 23.25%,其中细菌数量、真菌数量增加最多的为 NP70BF130 处理、放线菌数量增加最多的为 NP90BF110 处理。

### 4.3 化肥减量配施园林废弃物堆肥对玉米土壤理化性质的影响

化肥减量配施园林废弃物堆肥较单施化肥可改善土壤的理化性质。化肥减量和园林废弃物含量的增加降低了土壤 pH 值和土壤容重,增加了 EC 值和土壤孔隙度,土壤有机质和氮、磷、钾等含量均有所增加,通过土壤综合评价分析 NP70BF130 处理得分最高。有机质含量为 9.42 g/kg,相较于单施化肥全氮、全磷、全钾、碱解氮、速效磷、速效钾含量分别提高了 30.00%、5.85%、5.77%、45.63%、8.64%、24.46%。

### 参考文献:

- [1] 张红锋,王 伟,魏素珍. 地膜覆盖对西藏林芝土壤性质及玉米产量的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版),2015,43(10):14-18,26.
- [2] 关法春,张振钧,宗宪春,等. 林芝地区玉米产量影响因素的相关与通径分析[J]. 西南民族大学学报(自然科学版),2020,46(1):7-11.
- [3] 袁 旭,张家安,常飞杨,等. 我国肥料施用现状及化肥减量研究进展[J]. 农业与技术,2022,42(18):20-23.
- [4] 杨忠妍. 化肥施用过量对农作物的危害[J]. 现代农业科技,2020(21):203-204,212.
- [5] 汪生新. 浅谈化肥过量施用的危害及防治措施[J]. 青海农林科技,2018(2):34-35,67.
- [6] 桑贤策,罗小锋,黄炎忠,等. 政策激励、生态认知与农户有机肥施用行为:基于有调节的中介效应模型[J]. 中国生态农业学报(中英文),2021,29(7):1274-1284.
- [7] 廖传丽. 化肥减量增效技术推广的必要性和重要涵义[J]. 世界热带农业信息,2022(2):31-32.
- [8] 葛 嫚. 化肥减量增效技术推广的必要性研究[J]. 农业与技术,2019,39(8):50-51.
- [9] Chen S, Yan Z J, Ha X J, et al. Combining application of chemical fertilizer with manure significantly increased potassium availability in an alkaline soil[J]. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 2020, 116(3):285-298.
- [10] 张 选. 浅析化肥减量增效技术推广的必要性及重要涵义[J]. 农家参谋,2019(12):14.

- [11] 朱艳辉,任邵琦. 浅析化肥减量增效技术推行的必要性及重要涵义[J]. 农业与技术,2017,37(12):25.
- [12] 朱上游. 浅析有机无机肥配施对土壤环境和作物生长的影响[J]. 南方农业,2018,12(22):20-22.
- [13] 梁路,张卫杰,徐博涵,等. 有机无机肥配施影响土壤肥力与土壤环境的研究进展[J]. 河南农业科学,2022,51(3):1-11.
- [14] Wan L J, Tian Y, He M, et al. Effects of chemical fertilizer combined with organic fertilizer application on soil properties, *Citrus* growth physiology, and yield[J]. Agriculture, 2021, 11(12):1207.
- [15] 余韵,刘勇,烟亚萍,等. 园林废弃物堆肥对楸树苗木生长和养分状况的影响[J]. 福建农林大学学报(自然科学版), 2020, 49(4):492-497.
- [16] 贺坤,童莉,盛钗,等. 烟气脱硫石膏和园林废弃物堆肥混合施用对滨海盐渍土壤的改良[J]. 环境工程学报,2020,14(2):552-559.
- [17] 连鹏,范周周,郭东鑫,等. 城市污泥与园林废弃物混合堆肥施用对林地土壤微生物量碳、氮及酶活性的影响[J]. 环境科学学报,2018,38(7):2842-2848.
- [18] 庾富文,周俊辉,袁丽珍,等. 园林废弃物堆腐产品在花卉基质栽培中的应用研究[J]. 广东农业科学,2019,46(9):47-55.
- [19] 殷庆霁,郭建斌,倪肖卫,等. 不同堆肥对南方屋顶绿化植物生长特性的影响[J]. 环境工程学报,2017,11(11):6205-6213.
- [20] 胡嘉伟,刘勇,马履一,等. 园林废弃物堆肥替代油松容器苗基质材料的研究[J]. 南京林业大学学报(自然科学版),2015, 39(5):81-86.
- [21] 吴宇,张蕾,邸东柳,等. 园林废弃物堆肥替代泥炭对紫薇容器育苗影响研究[J]. 林业与生态科学,2020,35(1):105-111.
- [22] 邹琦. 植物生理学实验指导[M]. 北京:中国农业出版社,2000.
- [23] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3版. 北京:中国农业出版社, 2000.
- [24] 李振高,骆永明,滕应. 土壤与环境微生物研究法[M]. 北京:科学出版社,2008.
- [25] 王赫,李晓雪,王亚玲,等. 化肥减量配施有机肥和菌剂对辣椒产量、品质和养分累积的影响[J]. 北方园艺,2021(16):1-7.
- [26] 余高,陈芬,谢英荷,等. 化肥减施、有机肥配施对辣椒产量及品质的影响[J]. 北方园艺,2020(4):47-53.
- [27] 施全勇,钱春平,李红艳,等. 番茄增施有机肥及化肥减量增效试验研究[J]. 云南农业,2022(3):68-70.
- [28] 候丽丽,王伟,崔新菊,等. 化肥减量配施有机肥对小麦生长、光合和产量的影响[J]. 麦类作物学报,2021,41(4):475-482.
- [29] 李春喜,张令令,马守臣,等. 有机培肥和减施氮肥对小麦光合特性和氮素吸收及产量的影响[J]. 西北植物学报,2017,37(5):943-951.
- [30] 葛君,孟自力,张志标,等. 肥料配施对小麦根系、根际土壤微生物及秸秆养分积累的影响[J]. 江苏农业科学,2022,50(11):214-219.
- [31] 宋以玲,于建,陈士更,等. 化肥减量配施生物有机肥对玉米生长及土壤微生物和酶活性的影响[J]. 化肥工业,2019,46(1):55-61.
- [32] 王宁,南宏宇,冯克云. 化肥减量配施有机肥对棉田土壤微生物生物量、酶活性和棉花产量的影响[J]. 应用生态学报, 2020,31(1):173-181.
- [33] 田夏琼,关统伟,王淑英,等. 短期内有机肥增施对高原土壤养分和细菌群落的影响[J]. 西南农业学报,2022,35(4):924-931.
- [34] 高强,宓文海,夏斯琦,等. 不同施肥模式下黄泥田水稻土团聚体稳定性及有机碳矿化特征[J]. 上海农业学报,2022,38(1):13-20.
- [35] 鲁洪娟,周德林,叶文玲,等. 生物有机肥在土壤改良和重金属污染修复中的研究进展[J]. 环境污染与防治,2019,41(11):1378-1383.
- [36] 曲成闯,陈效民,韩召强,等. 生物有机肥对潮土物理性状及微生物量碳、氮的影响[J]. 水土保持通报,2018,38(5):70-76.
- [37] 如克艳木·买提司地克,佐合热古丽,钟雅漩,等. 不同施肥对梨园土壤团聚体稳定性的影响[J]. 北方园艺,2022(7):91-98.
- [38] 刘丽媛,徐艳,朱书豪,等. 有机肥配施对中国农田土壤容重影响的整合分析[J]. 农业资源与环境学报,2021,38(5):867-873.
- [39] 戴良香,张冠初,丁红,等. 有机肥和钙肥对盐碱花生根际细菌群落结构的影响[J]. 中国农业科技导报,2022,24(5):189-201.
- [40] Jin L, Jin N, Wang S Y, et al. Changes in the microbial structure of the root soil and the yield of Chinese baby cabbage by chemical fertilizer reduction with bio-organic fertilizer application[J]. Microbiology Spectrum, 2022, 10(6):e0121522.
- [41] 徐聪,张辉,唐忠厚,等. 减量氮肥配施有机肥及硝化抑制剂对土壤 pH 值、甘薯产量及构成的影响[J]. 江苏师范大学学报(自然科学版),2021,39(2):26-30,71.
- [42] 邱吟霜,王西娜,李培富,等. 不同种类有机肥及用量对当季旱地土壤肥力和玉米产量的影响[J]. 中国土壤与肥料,2019(6):182-189.
- [43] 赵跃,刘继培,黄楠,等. 有机肥不同用量对芹菜产量及土壤养分的影响[J]. 现代农业科技,2022(3):58-60.
- [44] Ma J F, Chen Y P, Wang K B, et al. Re-utilization of Chinese medicinal herbal residues improved soil fertility and maintained maize yield under chemical fertilizer reduction[J]. Chemosphere, 2021, 283:131262.
- [45] 刘中良,高俊杰,谷端银,等. 有机肥对设施番茄周年栽培土壤环境和产量的影响[J]. 应用生态学报,2020,31(3):929-934.