# 鸡肥与化肥配施对杨树苗根系形态和根际土壤微环境特征的影响

刘 晓[1,2]

(1. 德州学院 生态与园林建筑学院，山东 德州 253023；2. 山东省林业科学研究院，山东 济南 250014)

**摘 要**：通过盆栽试验，研究了 $N_{100}$（尿素提供 100%的氮），$M_{10}N_{90}$（鸡粪和尿素分别提供 10%和 90%的氮），$M_{30}N_{70}$（鸡粪和尿素分别提供 30%和 70%的氮）和 $M_{50}N_{50}$（鸡粪和尿素各提供 50%的氮）等处理对 1 年生鲁林 1 号杨树苗根系形态及根际微环境特征的影响。结果表明，与 $N_{100}$ 处理相比，$M_{30}N_{70}$ 处理显著增加了杨树苗的根表面积、比根表面积、总根长和根体积；明显提高了根系分泌物中氨基酸总量、有机酸总量和总糖含量；同时，还显著提高了根际土壤中氮、磷、钾及部分微量元素的有效性，但降低了 pH 值。此外，不同施肥处理对腐殖质组成亦产生了较大影响，$M_{30}N_{70}$ 处理降低了胡敏素/腐殖酸的比率，而明显提高了胡敏酸含量和胡敏酸/富里酸的比率。同 $M_{30}N_{70}$ 处理相比，$M_{10}N_{90}$ 和 $M_{50}N_{50}$ 处理对杨树苗的影响较小。因此，鸡粪与化肥以 3∶7 比例搭配对杨树苗根系形态特征和根际生态环境的作用效果最佳，从而更有利于提高杨树苗的移栽成活率。

**关键词**：鲁林 1 号杨；鸡粪有机肥；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(2014)05-0080-05 **中图分类号**：S157.4+1

DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2014.05.021

# Effect of Chicken Manure Co-applied with Inorganic Fertilizer on Root Morphological and Micro-environment Characteristics in Poplar Seedlings Rhizosphere Soil

LIU Xiao[1,2]

(1. *College of Ecology and Garden Architecture, Dezhou University, Dezhou, Shandong* 253023, *China*; 2. *Shandong Academy of Forestry, Jinan, Shandong* 250014, *China*)

**Abstract**: A pot experiment including five treatments of CK(neither urea nor chicken manure was applied), $N_{100}$(100% of nitrogen was provided by urea), $M_{10}N_{90}$(10% and 90% of nitrogen was provided by chicken manure and urea, respectively), $M_{30}N_{70}$(30% and 70% of nitrogen was provided by chicken manure and urea, respectively), and $M_{50}N_{50}$(50% and 50% of nitrogen was provided by chicken manure and urea, respectively) was conducted to evaluate the effects of chicken manure co-applied with inorganic fertilizer on root morphological characteristics and ecological environment of 1-year *Populus*×'Lulin-1' seedlings rhizosphere soil. The results indicated that in comparison to $N_{100}$ treatment, $M_{30}N_{70}$ treatment significantly increased the root surface area, specific root surface area, total root length and root volume, and obviously increased the content of total amino acids, total organic acids and total sugars in root exudates. In the meantime, $M_{30}N_{70}$ treatment apparently increased available nitrogen, available phosphorus, available potassium and trace element contents, but decreased the pH value in the rhizosphere soil. Besides, different fertilizer treatments had great effects on humus composition of rhizosphere soil. $M_{30}N_{70}$ treatment decreased the ratio of humin to humic acid, while significantly increased the humic acid contents and the ratio of humic acid to fulvic acid. However, in $M_{10}N_{90}$ and $M_{50}N_{50}$ treatments, less effects on poplar seedlings was observed than that in $M_{30}N_{70}$ treatment. In conclusion, chicken manure co-applied with inorganic fertilizer, especially $M_{30}N_{70}$ treatment, is beneficial to the root morphological characteristics and ecological environment at rhizosphere soil, which is importance to increase the transplanting survival rate of poplar seedlings.

**Keywords**: ***Populus*×'Lulin-1'; chicken manure; root morphological characteristics; root exudate; humus**

**收稿日期**:2013-11-05 **修回日期**:2013-11-11

**资助项目**:山东省农业重大应用技术创新课题"杨树超高产栽培关键技术研究"

**作者简介**:刘晓(1994—),女(汉族),山东省日照市人,在读本科学生,研究方向为土壤与植物生理生态。E-mail:jingdawei009@163.com。

植物根系是植物体的吸收和代谢器官,也是对外界环境条件反应敏感的器官。其赖以生存的土壤条件如土壤水分、养分、温度等直接影响根系生长和分布,影响根系吸收功能和代谢功能,进而影响植物地上部分的生长发育[1]。而根系形态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形态来控制个体和群体的发育,从而达到增产的目的[2]。根表面积、比根表面积、总根长、根体积等指标反应了作物根系的形态特征,并且与作物的生长量紧密相关[3]。

鸡粪是植物生产中优质的有机肥,富含 N,P,K 等植物所必需的养分,与其他家畜家禽粪便相比养分含量居于首位[4]。利用鸡粪生产制成的有机肥和有机无机复合肥对农作物增产明显。据统计,在西瓜、大白菜等作物上施用鸡粪,增产幅度为 15%～25%[4]。在果蔗上长期施用鸡粪,能改变土壤结构,使板结的土壤疏松化,增加透气性和保肥性[5]。可见,鸡粪在农业中的应用很广泛。然而,鸡粪用于人工林木的研究报道还相对较少[6]。目前在人工林营造和经营中由于管理措施不当,一定程度上造成了林地土壤生态环境退化、林地生产力下降的现象,急需科学有效的施肥技术来改善林地肥力。为此,本研究以山东省济宁市三环化工有限公司生产的鸡粪有机肥为供试原料,开展了鸡粪有机肥与化肥的不同搭配比例对一年生鲁林 1 号杨的根系形态特征、根系分泌物、根际土壤理化性质及腐殖质组成的研究,以期为施用鸡粪有机肥对杨树苗微环境特征的影响研究提供理论依据和技术参考。

# 1　材料与方法

## 1.1　试验地点与供试材料

试验地点设在山东省林业科学研究院试验苗圃,供试土壤为潮土,土壤全氮含量 0.58 g/kg,速效氮含量 25.36 mg/kg,速效磷含量 21.75 mg/kg,速效钾含量 82 mg/kg,有机质含量 6.49 g/kg。供试鸡粪有机肥为山东省济宁市三环化工有限公司提供,N,$P_2O_5$ 和 $K_2O$ 含量分别为 1.22%,1.33%和 2.71%,有机质含量为 24.18%。所用化肥为尿素、过磷酸钙、氯化钾。杨树扦插苗品种为鲁林 1 号杨,接穗长 14～16 cm,重量为 23～25 g。

## 1.2　试验设计

采用盆栽试验,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%的氮由鸡粪有机肥提供,90%的氮由尿素提供;$M_{30}N_{70}$,30%的氮由鸡粪有机肥提供,70%的氮由尿素提供;$M_{50}N_{50}$,50%的氮由鸡粪有机肥提供,50%的氮由尿素提供。每个处理 6 盆,共计 30 盆。除 CK 外,各处理均为等养分量,每盆 N,P 和 K 含量分别为 3.55,1.94,3.94 g,各处理 P 和 K 不足部分分别用过磷酸钙、氯化钾补足。试验用盆为购自市场的塑料盆,盆高 20 cm,宽 30 cm。于 2012 年 4 月 10 日盆栽试验时,将肥料与土壤充分混匀后装盆,每盆装土 10.5 kg。

## 1.3　取样和分析测定方法

2012 年 10 月 15 日(杨树幼苗落叶前)将每个处理的所有根系进行挑选并用水冲洗,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,并分析计算出根表面积、比根表面积、总根长和体积。同时参考 Wang 等[7]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 2 mm筛供土壤理化性质的测定。碱解氮的测定采用碱解扩散法,速效磷的测定采用 $NaHCO_3$ 浸提—钼锑抗比色法,速效钾的测定采用 $NH_4OAc$ 浸提—火焰光度法,pH 值的测定采用电位法(水∶土=2.5∶1),微量元素的测定采用 DTPA 溶液提取—原子吸收分光光度法;根系分泌物中氨基酸总量的测定采用甲醛滴定法,有机酸总量的测定采用 Agilent HP-1100 series 液相色谱仪,总糖的测定采用蒽酮比色法;腐殖质各组分的测定采用重铬酸钾容量法[8]。

## 1.4　统计方法

采用 Excel 2007 处理数据并制图,采用 SAS 软件进行方差分析和多重比较(LSD 法,$p<0.05$)。

# 2　结果与分析

## 2.1　鸡粪与化肥配施对杨树苗根系形态特征的影响

根表面积可反映根系与土壤的接触面积,并能决定根系吸收养分、水分的能力,与根系的功能、可塑性和增殖等关系密切,是反映根系生理功能的重要指标[9]。比根表面积、总根长和根体积同样可以反应根系的发育状况。由表 1 可见,同对照相比,各施肥处理均显著增加了杨树苗根系的生物量、表面积、比根表面积、总根长和体积。在不同的施肥处理中,$M_{30}N_{70}$ 处理的各指标均是最高,并显著高于其他处理。其中,$M_{30}N_{70}$ 处理的根表面积分别比 CK,$N_{100}$,$M_{10}N_{90}$ 和 $M_{50}N_{50}$ 处理增加 107.39%,59.34%,19.09%和 15.91%,比根表面积分别增加 15.54%,17.99%,7.31%和 7.95%。$M_{50}N_{50}$ 处理的总根长和根体积均显著高于 $M_{10}N_{90}$ 处理,而根生物量、根表面积、比根表面积与 $M_{10}N_{90}$ 处理的差异未达到显著水平,但均

显著高于 $N_{100}$ 处理。由此可见，鸡粪与化肥不同搭配处理的根生物量、表面积、比根表面积、总根长和体积均显著高于单施化肥处理。而在 3 个配施鸡粪处理中，随着鸡粪比例的增加，各根系指标均呈先升高后降低的趋势，表明鸡粪与化肥的搭配比例对杨树苗的根系形态特征具有决定性作用。

表 1 鸡粪与化肥配施对杨树苗根系形态特征的影响

| 处 理 | 根生物量/g | 根表面积/$cm^2$ | 比根表面积/($cm^2 \cdot g^{-1}$) | 总根长/cm | 根体积/$cm^3$ |
|---|---|---|---|---|---|
| CK | 12.73±0.41d | 3 685.18±129.15d | 289.49±9.32c | 5 385.14±167.15e | 36.59±1.25e |
| $N_{100}$ | 16.92±0.75c | 4 796.53±149.06c | 283.48±8.19c | 6 719.26±155.04d | 51.04±1.06d |
| $M_{10}N_{90}$ | 20.59±0.37b | 6 417.82±103.92b | 311.70±6.31b | 7 538.39±129.85c | 54.28±0.59c |
| $M_{30}N_{70}$ | 22.85±0.62a | 7 642.64±135.76a | 334.47±8.65a | 9 472.91±160.39a | 62.95±0.74a |
| $M_{50}N_{50}$ | 21.28±0.49b | 6 593.47±122.68b | 309.84±5.04b | 8 015.65±182.06b | 58.36±0.92b |

注：同列不同小写字母表示处理间差异显著($p<0.05$)。下同。

## 2.2 鸡粪与化肥配施对杨树苗根系分泌物的影响

根系分泌物是根际土壤中微生物所需碳和能量的基本来源，对根际土壤微环境的调节和养分吸收具有重要意义[10]。不同施肥处理对杨树苗根系分泌物中氨基酸总量、有机酸总量和总糖含量的影响如表 2 所示。配施鸡粪有机肥处理的氨基酸总量、有机酸总量和总糖含量显著高于 CK 和 $N_{100}$ 处理。其中 $M_{30}N_{70}$ 处理的氨基酸总量、有机酸总量和总糖含量显著高于其他处理，分别比 CK 提高 75.50%，84.94%和 46.52%，分别比 $N_{100}$ 处理提高 41.81%，50.67%和 41.17%；$M_{50}N_{50}$ 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。同 CK 相比，$N_{100}$ 处理明显提高了氨基酸总量和有机酸总量，而对总糖含量的影响较小。数据表明，配施鸡粪有机肥对杨树根系分泌物含量的提高幅度明显大于单施化肥，其中鸡粪有机肥与化肥以 3∶7 比例搭配的效果最显著。

表 2 鸡粪与化肥配施对杨树苗根系分泌物的影响

| 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 | 276.48±8.95e | 19.52±0.73d | 11.35±0.64c |
| $N_{100}$ | 342.15±7.63d | 23.96±0.85c | 11.78±0.32c |
| $M_{10}N_{90}$ | 391.57±9.82c | 29.82±0.69b | 13.95±0.47b |
| $M_{30}N_{70}$ | 485.21±9.34a | 36.10±0.41a | 16.63±0.51a |
| $M_{50}N_{50}$ | 423.69±8.05b | 30.36±0.58b | 13.29±0.39b |

## 2.3 鸡粪与化肥配施对杨树苗根际土壤理化性质的影响

土壤 pH 值直接影响土壤养分的存在状态、转化和有效性，因此对植物的生长发育有直接的影响。由表 3 可以看出，不同施肥处理对杨树苗根际土壤的 pH 值产生了明显的影响，$M_{30}N_{70}$ 处理的 pH 值最低，分别比 CK，$N_{100}$，$M_{10}N_{90}$ 和 $M_{50}N_{50}$ 处理降低 0.29，0.24，0.16 和 0.15 个单位，其中 $M_{10}N_{90}$ 与 $M_{50}N_{50}$ 处理的 pH 值差异不显著，而其他处理之间均达显著性差异。根际土的养分含量主要取决于当季施肥量，同时也受到微生物的矿化作用和酶促反应的影响。植物根系周围土壤的养分能被植物直接吸收利用，是物质循环中最活跃的部位[6]。$M_{30}N_{70}$ 处理的碱解氮、速效磷和速效钾含量均是最高，并显著高于其他处理；其次是 $M_{10}N_{90}$ 或 $M_{50}N_{50}$ 处理，也显著高于 CK 和 $N_{100}$ 处理。这表明配施鸡粪相比单施化肥能明显增加根际土中的速效养分含量。此外，不同施肥处理还对杨树苗根际土壤中微量元素的有效性产生了一定影响。与 $N_{100}$ 处理相比，配施鸡粪有机肥的 3 个处理不同程度地提高了有效 Fe，Cu 和 Zn 的含量，而对有效 Mn 的影响较小。其中 $M_{30}N_{70}$ 处理的有效 Fe，Cu 和 Zn 含量均是最高，并显著高于其他处理；$M_{50}N_{50}$ 处理的有效 Fe 含量明显高于 $M_{10}N_{90}$ 处理，而有效 Cu，Zn 含量与 $M_{10}N_{90}$ 处理无显著性差异。同 CK 相比，$N_{100}$ 处理对根际土壤中微量元素的有效性影响较小。

表 3 鸡粪与化肥配施对杨树苗根际土壤理化性质的影响 mg/kg

| 处 理 | pH 值 | 碱解氮 | 速效磷 | 速效钾 | Fe | Mn | Cu | Zn |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| CK | 8.37±0.06a | 39.17±2.02e | 28.15±1.06d | 522.63±10.25e | 17.48±0.61d | 6.91±0.45a | 20.82±0.72c | 4.92±0.13c |
| $N_{100}$ | 8.32±0.02b | 46.64±2.16d | 35.84±0.98c | 583.49±13.61d | 18.39±0.55d | 7.16±0.36a | 21.79±0.63c | 5.08±0.07c |
| $M_{10}N_{90}$ | 8.24±0.03c | 54.69±1.35c | 42.72±1.14b | 646.57±10.39b | 21.14±0.58c | 7.09±0.27a | 27.24±0.76b | 5.31±0.11b |
| $M_{30}N_{70}$ | 8.08±0.05d | 67.83±2.83a | 48.36±1.58a | 682.12±11.02a | 26.61±0.39a | 7.05±0.15a | 31.35±0.68a | 5.83±0.14a |
| $M_{50}N_{50}$ | 8.23±0.02c | 58.02±1.27b | 40.91±1.36b | 621.98±10.08c | 24.52±0.43b | 7.22±0.32a | 26.03±0.81b | 5.36±0.21b |

### 2.4　鸡粪与化肥配施对杨树苗根际土壤腐殖质组成的影响

土壤腐殖质是无定形、暗色的、亲水的和酸性的不完全芳香族化学复合有机物质,不仅可以作为营养元素的"库",还影响着土壤中的矿物组成等[11]。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。表 4 显示了不同处理对杨树苗根际土壤中腐殖质组成的影响。可见,同对照相比,各施肥处理均显著提高了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。在施肥处理中,$M_{50}N_{50}$ 处理的胡敏素碳最高,并且显著高于其他处理,而腐殖酸碳与 $M_{30}N_{70}$ 处理差异不显著,但显著高于 $N_{100}$ 和 $M_{10}N_{90}$ 处理;$M_{10}N_{90}$ 与 $N_{100}$ 处理的胡敏素碳和腐殖酸碳均差异不显著。各施肥处理明显降低了胡敏素碳与腐殖酸碳的比值,$N_{100}$,$M_{10}N_{90}$,$M_{30}N_{70}$ 和 $M_{50}N_{50}$ 处理分别比 CK 降低 16.24%,18.70%,33.18%和 26.07%。同时,各施肥处理显著提高了胡敏酸碳和富里酸碳,其中胡敏酸碳的大小顺序为:$M_{30}N_{70} > M_{50}N_{50} > M_{10}N_{90} > N_{100} >$ CK,且各处理之间差异均达显著水平。胡敏酸含有羧基、羟基、酚羟基等多种高活性的功能团,属于一种可变电荷的有机胶体,是腐殖质中的关键组成部分,它可以增强土壤吸收性能,更有效地保持养分和水分,并促进土壤结构体的形成[11]。胡敏酸与富里酸的比值大小是衡量土壤腐殖化程度的一个重要指标,能反映各种施肥措施对土壤腐殖化程度及土壤理化性质的影响。从表 4 可知,各施肥处理均明显提高了 HA/FA 比值,与 CK 相比,$N_{100}$,$M_{10}N_{90}$,$M_{30}N_{70}$ 和 $M_{50}N_{50}$ 处理分别提高 6.42%,9.13%,25.02%和 14.07%。可见,在各个施肥处理中,$M_{30}N_{70}$ 处理对 HA/FA 的提高幅度最大,其次是 $M_{50}N_{50}$,而 $M_{10}N_{90}$ 与 $N_{100}$ 差异不显著,对 HA/FA 的提高幅度最小,说明少量投入鸡粪对土壤腐殖质的影响作用是有限的。

由此说明,$M_{30}N_{70}$ 处理能降低胡敏素碳与腐殖酸碳的比值,提高胡敏酸碳含量和 HA/FA 比值,并且在各个施肥处理中的作用效果最显著。这说明鸡粪与化肥以 3∶7 比例搭配不仅更好地促进了土壤腐殖质的积累,还提高了其质量。

表 4　鸡粪与化肥配施对杨树苗根际土壤腐殖质组成的影响

| 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 | 8.81±0.32c | 2.81±0.07c | 3.14±0.06a | 1.21±0.03e | 1.60±0.05e | 0.76±0.02d |
| $N_{100}$ | 9.71±0.15b | 3.69±0.12b | 2.63±0.05b | 1.65±0.05d | 2.04±0.04d | 0.81±0.02c |
| $M_{10}N_{90}$ | 9.91±0.22b | 3.88±0.09b | 2.55±0.06b | 1.76±0.02c | 2.12±0.02c | 0.83±0.01c |
| $M_{30}N_{70}$ | 9.69±0.37b | 4.62±0.04a | 2.10±0.03d | 2.25±0.02a | 2.37±0.04b | 0.95±0.01a |
| $M_{50}N_{50}$ | 10.75±0.23a | 4.63±0.02a | 2.32±0.03c | 2.15±0.03b | 2.48±0.02a | 0.87±0.02b |

## 3　讨 论

大量研究发现,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(根表面积、总根长、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[12]。李絮花等[13]在小麦上的研究表明,有机肥促进了根系的生长,显著提高了小麦根系的总鲜重。本研究认为,与单施化肥相比,配施鸡粪有机肥明显增强了杨树苗的根系形态特性,根表面积、比根表面积、总根长和根体积均显著提高。可见,配施鸡粪有机肥明显刺激了根系的生长,这可能是由于鸡粪有机肥提供了丰富的有机碳,调节了土壤的 C/N 比,同时还增加了土壤的疏松度,改善了通气性,从而为根系生长创造了良好的物理环境。有研究表明[14],在植物生长过程中,根系不仅从土壤中摄取水分和养分,同时也向生长介质中分泌质子,释放无机离子,溢泌或分泌大量有机物,即根系分泌物。还有研究表明[15],根系分泌物中含有一定量的有机酸。本试验中,杨树苗根系形态特征的改善明显促进了根系分泌物的生成,提高了根系分泌物中有机酸的含量,从而导致根际土壤 pH 值的变化,这可能是配施鸡粪有机肥降低根际土壤 pH 值的机理之一。有文献报道[16],土壤 pH 值降低能够提高 P,K 及部分盐类离子的溶解度,这有利于提高根际土壤中养分离子的有效性;还有研究认为,pH 值降低可以导致胡敏酸吸附固定能力减弱[17],也是根际土壤中养分离子有效性提高的机理之一。因此,配施鸡粪有机肥改善了杨树苗根际土壤的理化性质,这就形成了"根系形态特征的改善—根系分泌物增加—根际土壤中养分离子有效性提高—增强根系的吸收能力,促进根系生长"的良性循环。

土壤中有机物质的种类很多,但对土壤肥力影响

最大的是腐殖酸。土壤腐殖酸在组成上以胡敏酸和富里酸为主。本试验研究得出,配施鸡粪有机肥相比单施化肥显著提高了根际土壤中胡敏酸的含量及胡/富。这可能是因为鸡粪有机肥能促使根系分泌物增多,同时部分根系腐解、脱落可能会导致土壤腐殖质成分的改变。此外,微生物本身活动的加剧能导致细胞死亡、残体分解加速,这也可能是胡敏酸增加的原因之一。这与前人的研究结果基本一致。

另外,本试验还发现,在鸡粪有机肥与化肥的不同比例配施中,3∶7 比例搭配处理对杨树苗根系形态和根际土壤微生态环境的改善效果要好于 1∶9 和 5∶5 的比例,可能是因为鸡粪有机肥与化肥以 3∶7 比例配施能更好地调节土壤的 C/N 比,有利于土壤微生物的大量繁殖和微生物活性的提高,从而更利于土壤理化性状的改善及根系的生长。这也进一步证明,鸡粪与化肥合适的搭配比例具有决定性的作用,而并非鸡粪的比例越大越好。

## 4 结 论

同 $N_{100}$ 处理相比,$M_{30}N_{70}$ 处理显著增加了杨树苗的根表面积、比根表面积、总根长和根体积,其中根表面积分别比 CK,$N_{100}$,$M_{10}N_{90}$ 和 $M_{50}N_{50}$ 处理增加 107.39%,59.34%,19.09%和 15.91%;$M_{30}N_{70}$ 处理明显提高了根际土壤中根系分泌物的含量,其中氨基酸总量、有机酸总量和总糖含量分别比 $N_{100}$ 处理提高 41.81%,50.67%和 41.17%;同时,$M_{30}N_{70}$ 处理还显著提高了根际土壤中氮、磷、钾及部分微量元素的有效性,但降低了 pH 值。此外,不同施肥处理对根际土壤中腐殖质组成亦产生了较大影响,$M_{30}N_{70}$ 处理降低了胡敏素/腐殖酸,而明显提高了胡敏酸含量和胡/富。与 $M_{30}N_{70}$ 处理相比,$M_{10}N_{90}$ 和 $M_{50}N_{50}$ 处理对杨树苗的影响较小。综合分析认为,鸡粪与化肥以3∶7 比例搭配对杨树苗根系形态特征和根际生态环境的作用效果最佳,从而更有利于提高杨树苗的移栽成活率。

[ 参 考 文 献 ]


[1] 马秀玲,陆光明,徐祝龄,等. 农林复合系统中林带和作物的根系分布特征[J]. 中国农业大学学报,1997,2(1):109-116.

[2] 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.

[3] 刘晓冰,王光华. 根系研究的现状与展望(下)[J]. 世界农业,2001(9):42-44.

[4] 刘高峰. 有机营养对烤烟生理代谢与品质影响的研究[D]. 福州:福建农林大学,2006.

[5] 赵明,陈雪辉,赵征宇,等. 鸡粪等有机肥料的养分释放及对土壤有效铜、锌、铁、锰含量的影响[J]. 中国生态农业学报,2007,15(2):47-50.

[6] Norton J M. Carbon flow in the rhizosphere of Ponderosa pine seedlings [J]. Soil Biology & Biochemistry, 1990,22(4):149-155.

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

[8] 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.

[9] 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.

[10] Cheng Weixin, Zhang Qiangli, Coleman D C, et al. Is available carbon limiting microbial respiration in the rhizosphere? [J]. Soil Biology and Biochemistry, 1996,28(10/11):1283-1288.

[11] 张敬敏,邢尚军,叶桂梅,等. 腐殖酸与无机肥配施对杨树养分吸收和土壤肥力的影响[J]. 水土保持学报,2010,24(6):200-203.

[12] 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.

[13] 李絮花,杨守祥,于振文,等. 有机肥对小麦根系生长及根系衰老进程的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2005,11(4):467-472.

[14] Drever J I, Vance G F. Role of soil organic acids in mineral weathering process[M]// Pittman E D, Lewan M D. Organic Acids in Geological Process. New York: Springer-Verlag, 1994:138-161.

[15] 杨守军,刘德玺,孙玉波,等. 根剪对冬枣根际土理化性状及生物学特性的影响[J]. 水土保持学报,2009,23(5):215-218.

[16] 杜振宇. 养分交互作用下磷钾在土壤肥际微域中的迁移与转化[D]. 南京:中国科学院南京土壤研究所,2005.

[17] 李光林,魏世强. 腐植酸对铜的吸附解吸特性[J]. 生态环境,2003,12(1):4-7.