

配施鸡粪有机肥对杨树苗光合特性和养分吸收的影响

井大炜^{1,2}

(1. 德州学院, 山东 德州 253023; 2. 山东省林业科学研究院, 山东 济南 250014)

摘要: 为了探讨鸡粪有机肥(M)与化肥(N)配施对杨树苗光合性能和养分吸收特性的作用效果,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)等处理对一年生杨树苗光合作用、叶绿素含量、根系活力和构造以及养分吸收的影响。结果表明,同 N_{100} 处理相比, $M_{30}N_{70}$ 处理明显提高了杨树苗叶片的净光合速率、蒸腾速率、气孔导度和胞间 CO_2 浓度;叶片的叶绿素含量和根系活力分别提高了 45.80% 和 36.39%。配施鸡粪有机肥有利于杨树苗根系的生长,尤其是增加了毛细根的重量和其在根系体系中的比例。此外, $M_{30}N_{70}$ 处理还明显提高了杨树苗根、茎和叶干物质的积累量,并显著增加了氮、磷和钾的养分吸收量,相比 N_{100} 处理分别增加了 44.99%, 65.11% 和 65.04%。与 $M_{30}N_{70}$ 处理相比, $M_{10}N_{90}$ 和 $M_{50}N_{50}$ 处理对杨树苗光合作用和养分吸收特性的影响较小。综合分析认为,鸡粪有机肥与化肥以 3:7 比例配施对杨树苗光合性能和养分吸收的作用效果最佳。

关键词: 鸡粪有机肥; 杨树; 光合作用; 根系; 养分吸收

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2013)05-0019-05

中图分类号: S157.4⁺¹, Q945.11

Effect of Chicken Manure Co-applied with Inorganic Fertilizer on Photosynthesis Characteristics and Nutrient Uptake in Poplar Seedlings

JING Da-wei^{1,2}

(1. Dezhou University, Dezhou, Shandong 253023, China; 2. Shandong Forestry Academy, Jinan, Shandong 250014, China)

Abstract: A pot experiment was performed with five treatments, i. e. 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 were provided by chicken manure and urea, respectively), $M_{30}N_{70}$ (30% and 70% of nitrogen were provided by chicken manure and urea, respectively) and $M_{50}N_{50}$ (50% and 50% of nitrogen were provided by chicken manure and urea, respectively). The experiment was to determine the effect of chicken manure co-applied with inorganic fertilizer on the photosynthesis, chlorophyll content and root activity and construction, as well as the growth and nutrient uptake of one-year-old poplar seedlings. Results showed that the photosynthetic (P_n), transpiration rate (T_r), stomatal rate (G_s) and intercellular concentration (C_i) of poplar seedlings leaves in $M_{30}N_{70}$ treatment were significantly increased as compared with that in N_{100} treatment. $M_{30}N_{70}$ treatment also resulted in the higher chlorophyll content and root activity, with increases of 45.80% and 36.39% as compared with the N_{100} treatment, respectively. Chicken manure co-applied with inorganic fertilizer had beneficial effects on the root growth of poplar seedlings, especially the weight and the ratio of fine root. In addition, compared with the N_{100} treatment, the $M_{30}N_{70}$ treatment significantly increased the root, shoot and dry leaf weight accumulation, as well as the N, P and K contents. Consequently, the N, P, and K uptakes increased by 44.99%, 65.11% and 65.04%, respectively. However, in $M_{10}N_{90}$ and $M_{50}N_{50}$ treatments, less effect on photosynthesis characteristics and the nutrient uptake of one-year-old poplar seedlings was observed than that in $M_{30}N_{70}$ treatment. Chicken manure co-applied with inorganic fertilizer, especially the $M_{30}N_{70}$ treatment, achieved the best effects on the growth and nutrients uptake of poplar seedlings.

Keywords: chicken manure; poplar; photosynthesis; root; nutrient uptake

收稿日期: 2012-10-26

修回日期: 2012-11-27

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: 井大炜(1982—), 男(汉族), 陕西省绥德县人, 博士, 主要从事植物营养机理研究。E-mail: jingdawei009@163.com。

肥料是植物的粮食,是重要的农业生产资料,在农业增产中起着重要的作用^[1]。据联合国粮农组织(FAO)估计,施用化肥可提高粮食作物单产 55%~57%^[2],但是农业上大量投入的化肥造成地表水富营养化、地下水和蔬菜中硝态氮含量超标等问题^[3],这已经成为一个急待解决的环境问题。有机肥所含营养成分丰富、全面,可优化土壤微生物种群,增强土壤酶活性,改善土壤农化性状,保持土壤肥力,并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^[4]。所以,有机肥和化肥配合施用是长期以来农业生产中的研究热点。

鸡粪是植物生产中优质的有机肥,富含氮、磷、钾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^[5]。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、西兰花、茶叶、红茄、大白菜、杨梅等作物上施用鸡粪有机肥,增产幅度在 15%~25%^[5]。在果蔗上长期施用鸡粪有机肥,可以改变土壤结构,使板结的土壤松化,增加透气性和保肥性^[6]。因此,鸡粪在农业生产中得到越来越广泛的应用。然而,鸡粪用于人工林施肥的研究报道还较少。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,本研究以济宁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 I-107 欧美杨的光合性能、根系活力、根系构建及养分吸收的研究,为探讨施用鸡粪有机肥对杨树苗生物学特性的影响提供理论依据,并且为杨树苗的培育和造林提供技术参考。

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,土壤速效氮 27.96 mg/kg,速效磷 26.52 mg/kg,速效钾 79 mg/kg,有机质含量为 6.83 g/kg。供试鸡粪有机肥为济宁三环化工有限公司提供,N、P₂O₅ 和 K₂O 含量分别为 1.22%,1.33% 和 2.71%;所用化肥为尿素、过磷酸钙、氯化钾。杨树扦插苗品种为 I-107 欧美杨,接穗长 15~16 cm,茎粗 2 cm,重量 25~27 g。

1.2 试验设计

采用盆栽试验,随机区组设计,设 5 个处理。(1) CK:不施肥;(2) N₁₀₀:100%的氮由尿素提供;(3) M₁₀N₉₀:10%的氮由鸡粪有机肥提供,90%的氮

由尿素提供;(4) M₃₀N₇₀:30%的氮由鸡粪有机肥提供,70%的氮由尿素提供;(5) M₅₀N₅₀:50%的氮由鸡粪有机肥提供,50%的氮由尿素提供。每个处理 8 盆,共计 40 盆。除 CK 外,各处理均为等养分量,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 2011 年 4 月 13 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 测定项目与方法

(1) 在杨树苗生长后期(9 月 6 日)进行光合作用的测定,然后采集叶片和根系样品进行叶绿素含量和根系活力的测定。其中,光合作用采用美国 CID 公司 CI-310 便携式光合仪测定,每处理选 5~6 片长势基本一致的新梢中部朝阳成熟叶,于上午 9:00—11:00,测定叶片的净光合速率(P_n)、蒸腾速率(T_r)、气孔导度(G_s)和胞间 CO₂ 浓度(C_i);叶片叶绿素含量采用 80%丙酮浸提,分光光度计比色测定;根系活力采用 TTC 比色法测定^[7]。(2) 在 2011 年 10 月 16 日(落叶前)将杨树苗收获,按照根、茎、叶采集样品,称其鲜重。其中,根系按照 <2 mm 和 2~5 mm 进行分级,分别称其鲜重和总鲜重。植物样品在杀青、烘干后称其干重,分别采用 H₂SO₄-H₂O₂—蒸馏法、钼钒黄比色法和火焰光度计法测定其氮、磷和钾的含量。并计算杨树苗对养分的总吸收量。

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叶片光合性能的影响

表 1 显示了不同处理对杨树苗叶片光合性能的影响。可见,施肥均可不同程度地提高杨树苗叶片的净光合速率,但不同施肥处理之间差异较大。同 CK 相比, N₁₀₀, M₁₀N₉₀, M₃₀N₇₀ 和 M₅₀N₅₀ 分别增加 54.01%,100.19%,143.28% 和 108.49%。方差分析表明,在 3 个鸡粪有机肥处理中, M₃₀N₇₀ 显著高于 M₁₀N₉₀ 和 M₅₀N₅₀,而 M₁₀N₉₀ 和 M₅₀N₅₀ 之间差异不显著。鸡粪有机肥同样也增强了蒸腾速率,各处理的变化趋势是 M₃₀N₇₀ > M₁₀N₉₀ > M₅₀N₅₀ ≈ N₁₀₀ > CK。

气孔是 CO₂ 进入和水分外出的主要门户,气孔开度大小既影响叶片的光合速率,也左右着蒸腾速率。气孔开度的大小一般用气孔导度(G_s)来表示, G_s 下降有利于减少水分外出,对于植物组织的水分保持具有重要意义,但 G_s 的下降亦影响到 CO₂ 的进入,对光合作用产生不利影响。本研究保证了杨树

苗生长期间水分供应基本一致, 因此 G_s 值越高越有利于光合作用的进行。M₃₀N₇₀ 的 G_s 值最高, 其次是 M₅₀N₅₀, 均显著高于其他处理, 而 M₁₀N₉₀ 与 N₁₀₀ 比较接近, 差异不明显。C_i 的变化规律是 M₃₀N₇₀ > M₁₀N₉₀ > M₅₀N₅₀ > N₁₀₀ > CK, 并且各处理之间差异均达显著水平。由此可见, 随着鸡粪有机肥比例的增加, 杨树苗叶片的净光合速率、蒸腾速率、气孔导度

和胞间 CO₂ 浓度均呈现先升高后降低的趋势, 因此, 并非鸡粪有机肥的比例越大, 叶片的光合作用就越强。在鸡粪与化肥的不同配比中, 3 : 7 的比例使叶片的光合作用达到最强。这也表明, 适量配施鸡粪有机肥在一定程度上有利于杨树苗叶片光合作用的进行, 可更好地保证光合产物的积累与供应, 这对于杨树干物质的积累有重要意义。

表 1 鸡粪与化肥配施对杨树苗叶片光合性能的影响

处理	净光合速率 P_n / ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	蒸腾速率 T_r / ($\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	气孔导度 G_s / ($\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	胞间 CO ₂ 浓度 C_i / ($\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$)
CK	10.72 ± 0.53d	4.63 ± 0.35d	0.29 ± 0.02d	202.14 ± 6.04e
N ₁₀₀	16.51 ± 0.76c	5.20 ± 0.32c	0.46 ± 0.02c	229.37 ± 6.39d
M ₁₀ N ₉₀	21.46 ± 0.91b	7.07 ± 0.46b	0.48 ± 0.03c	306.06 ± 7.72b
M ₃₀ N ₇₀	26.08 ± 0.98a	7.43 ± 0.42a	0.65 ± 0.03a	321.28 ± 7.53a
M ₅₀ N ₅₀	22.35 ± 0.85b	5.45 ± 0.39c	0.54 ± 0.03b	278.39 ± 5.98c

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叶绿素含量及根系活力的影响

叶绿素含量是植物光合特性的重要量度, 直接影响碳水化合物的合成, 它是反映叶片质量的一个重要指标。杨树苗叶片的叶绿素含量如图 1 所示。方差分析结果显示, 所有施肥处理均不同程度增加了杨树叶片的叶绿素含量, 而在各施肥处理中, M₃₀N₇₀ 叶绿素含量最高, N₁₀₀ 最低。M₃₀N₇₀ 分别比 CK, N₁₀₀, M₁₀N₉₀ 和 M₅₀N₅₀ 提高了 105.33%, 45.80%, 17.63% 和 22.61%。由表 1 和图 1 比较可知, 各处理杨树苗叶绿素含量与净光合速率 P_n 具有相同的变化趋势, 这是由于叶绿素是影响净光合速率的限制性因子所致。可见, M₃₀N₇₀ 的效果最显著, 所以适量配施鸡粪有机肥能明显增加叶绿素含量, 从而使叶片落黄延迟, 延缓了衰老。

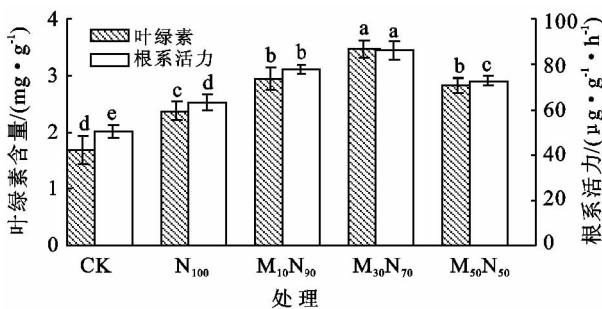


图 1 鸡粪与化肥配施对杨树苗叶绿素含量和根系活力的影响

根系是植株从土壤中吸收水分、养分最直接和最重要的器官。根系活力大小在一定程度上可反映根系吸收养分能力的强弱, 其大小直接影响植物个体的

生长发育和营养水平等^[8]。由图 1 还可以看出, 施肥可不同程度地提高杨树苗的根系活力。同 CK 相比, N₁₀₀, M₁₀N₉₀, M₃₀N₇₀ 和 M₅₀N₅₀ 分别提高了 25.36%, 54.30%, 70.98% 和 44.39%; M₃₀N₇₀ 分别比 N₁₀₀, M₁₀N₉₀ 和 M₅₀N₅₀ 提高了 36.39%, 10.81% 和 18.41%。可见, 鸡粪有机肥与化肥以 3 : 7 比例搭配时对杨树苗根系活力的增强作用最明显。

2.3 鸡粪与化肥配施对杨树苗根系构建水平的影响

植物根系的建造水平对养分及水分的吸收有着不可忽略的作用。从图 2 可见, 从根系分级的绝对重量来看, 各施肥处理 < 2 mm 和 2~5 mm 的根系均显著大于对照, 说明施肥能明显促进杨树苗根系的生长。而鸡粪有机肥与化肥的不同配比对杨树苗根系的总鲜重及建造水平也产生了很大的影响。M₃₀N₇₀ 中 < 2 mm 的根系重量明显大于其他 3 个施肥处理, 其中, M₁₀N₉₀ 和 M₅₀N₅₀ 差异不显著, 但均显著大于 N₁₀₀; 而 2~5 mm 的根系, 4 个施肥处理之间未见显著差异。此外, 4 个施肥处理中, < 2 mm 根系所占比例分别为 45.74%, 53.38%, 57.68% 和 53.67%, 可见, 随着鸡粪有机肥比例的增加, 在杨树苗根系建造中, 细根的比例呈先升高后降低的趋势。当鸡粪有机肥与化肥以 3 : 7 比例搭配时, 细根所占比例达到最大值。从根系总鲜重来看, 鸡粪有机肥的加入同样对根系产生了显著影响。同 N₁₀₀ 相比, M₁₀N₉₀, M₃₀N₇₀ 和 M₅₀N₅₀ 的根系总鲜重分别增加了 22.06%, 35.12% 和 19.80%。由此可见, 配施鸡粪有机肥有利于杨树苗根系的生长, 尤其是促进了毛细根数量的增加, 这明显能增强杨树苗对养分和水分的吸收能力。

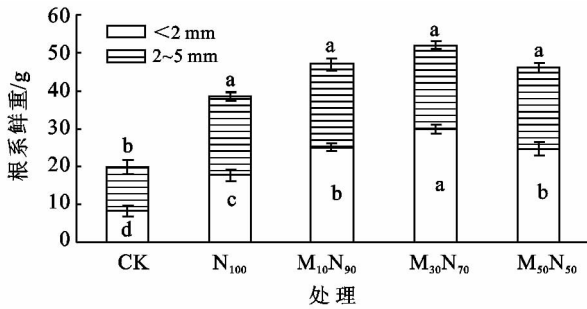


图 2 鸡粪与化肥配施对杨树苗根系构建水平的影响

2.4 鸡粪与化肥配施对杨树苗养分吸收的影响

从表 2 可以看出,同 CK 相比,各施肥处理可不同程度地提高杨树苗根、茎和叶的干物质量。综合来看, M₃₀N₇₀ 的效果最为明显,其根、茎和叶的干物质量分别是 CK 的 2.77, 7.49 和 4.66 倍,分别比 N₁₀₀ 提高了 36.41%, 23.92% 和 30.15%。可见,配施鸡粪有机肥对于杨树苗干物质积累有明显的促进作用。从干物质中的养分含量可以看出, M₃₀N₇₀ 的全氮含量

显著高于其他处理,而全磷和全钾含量在 4 个施肥处理之间差异不显著。配施鸡粪有机肥的 3 个处理能明显提高杨树苗总的养分吸收量,均显著高于单施化肥处理。同 N₁₀₀ 相比, M₃₀N₇₀ 对氮、磷和钾的总养分吸收量分别增加了 44.99%, 65.11% 和 65.04%。而在 3 个鸡粪有机肥处理中,随着鸡粪有机肥所占比例的增加,杨树苗的总养分吸收量呈先升高后降低的变化趋势。在鸡粪有机肥与化肥以 3:7 比例搭配时,氮、磷和钾的总养分吸收量均达到最大值。其中,氮和钾的总养分吸收量显著高于 M₁₀N₉₀ 和 M₅₀N₅₀,而磷的总养分吸收量显著高于 M₁₀N₉₀,但与 M₅₀N₅₀ 差异不显著。N₁₀₀, M₁₀N₉₀, M₃₀N₇₀ 和 M₅₀N₅₀ 的氮素利用率分别为 39.98%, 48.51%, 61.38% 和 49.77%, M₃₀N₇₀ 分别比 N₁₀₀, M₁₀N₉₀ 和 M₅₀N₅₀ 提高了 53.52%, 26.53% 和 23.33%。以上分析认为,当鸡粪有机肥与化肥配合施用,同单施化肥相比,对干物质中的养分含量影响较小,但明显增加了杨树苗的干物质积累量、养分吸收量和氮素利用率。

表 2 鸡粪与化肥配施对杨树苗养分吸收的影响

处理	干物质量 (g/株)			养分含量/(g·kg ⁻¹)			养分吸收量 (g/株)		
	根	茎	叶	N	P	K	N	P	K
CK	8.17d	15.33d	9.67d	8.11d	2.90b	6.34b	0.27d	0.10d	0.21d
N ₁₀₀	16.59c	92.68c	34.59c	11.74c	3.58a	6.94ab	1.69c	0.51c	1.00c
M ₁₀ N ₉₀	20.94b	105.43b	39.16b	12.03b	3.96a	7.87a	1.99b	0.65b	1.30b
M ₃₀ N ₇₀	22.63a	114.85a	45.02a	13.41a	4.66a	9.02a	2.45a	0.85a	1.65a
M ₅₀ N ₅₀	20.07b	103.16b	40.64b	12.42b	4.23a	7.97a	2.04b	0.69ab	1.31b

3 讨论

3.1 光合作用、叶绿素

王林权等^[9]研究表明,鸡粪能提高油菜的光合速率。张林等^[10]研究认为,粉煤灰配施鸡粪能提高苹果叶片中叶绿素的含量;也有研究认为,鸡粪有机肥能提高肥城桃叶片的叶绿素含量及光合速率^[11]。本试验发现,同单施化肥相比,配施鸡粪有机肥能明显提高杨树苗叶片的叶绿素含量,增强光合作用。这可能与鸡粪有机肥养分释放缓慢、土壤养分库逐渐提高和植物抗旱等逆境能力的提高有关,使杨树苗在生长后期也有同步的养分供应,从而增强了杨树苗后期的光合作用能力。本研究还发现,当鸡粪有机肥与化肥以 3:7 比例配合时,对杨树苗叶片的叶绿素含量和光合性能的促进作用最明显。这可能是由于 3:7 的比例搭配更好地促进了土壤微生物对化肥氮的有效调控,使化肥氮更好地被转化利用,确保了杨树苗营养代谢的协调均衡,从而增强了叶片的光合性能。

3.2 根系活力、根系建造

有研究表明,作物通过某种机制感知根际养分变

化,然后通过启动体内特定基因的表达和相应的生理生态反应,最终引起根系的形态和生理特性变化,来增加养分的吸收。因此,植物对养分的吸收以及最终产量的形成是根系形态特征和生理特性共同影响的结果^[12]。高忠渊^[13]试验结果表明,鸡粪有机肥对烟株根系活力有一定的增强作用。王志芬等^[14]在冬小麦上的研究也得出了相似的结论。本试验研究发现,鸡粪有机肥与化肥配合施用,不仅能提高杨树苗的根系活力,而且能提高杨树苗毛细根的绝对重量。这可能是因为鸡粪有机肥能使土壤疏松、爽水、透气,保持土壤良好的结构,改善了土壤理化性能,为杨树苗根系的生长提供了一个良好的环境,同时鸡粪有机肥可能有诱导土壤中毛细根生长的作用。这对杨树苗养分和水分的吸收具有积极的作用。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;而且在植物的整个生长期,进行着很活跃的代谢作用,向根外分泌无机和有机物质,这些分泌物是根际微生物的重要营养来源和能量来源^[15]。

3.3 养分吸收

Krey 等^[16]在玉米上的研究认为,有机肥与化肥

配施可提高肥料利用率。朱菜红等^[17]在水稻的研究表明,化肥配施鸡粪堆肥能明显提高化肥氮利用率。本研究发现,配施鸡粪有机肥不仅增强了杨树苗对养分的吸收,而且促进了杨树苗根、茎和叶的干物质积累。这可能是由于鸡粪有机肥中腐解产生的有机酸增加了土壤中有机养分的矿化过程,从而促进了难溶性养分的释放,增加了土壤中全效和速效养分的含量^[18],即相当于施入了更多的矿质营养。另外,土壤施入鸡粪有机肥后导致土壤有机质含量提高,进而增加了土壤中微生物数量、活力及微生物的多样性,最终提高了土壤微生物量碳、氮,并提升了土壤的营养供应容量^[19],减少了肥料的损失,提高了肥料利用率。因此,配施鸡粪有机肥促进了杨树苗对养分的吸收利用,尤其是满足了植物生长后期对养分的同步需求。在三种不同比例中,鸡粪有机肥与化肥以3:7比例搭配的效果最为明显。这说明鸡粪有机肥比例过大,会导致杨树苗生长前期养分匮乏;而比例过小,则对杨树苗生长后期的养分吸收产生不利影响。因此,只有鸡粪有机肥与化肥配合比例适当,才能更有效地提高养分利用效率,促进杨树苗的生长。

4 结论

(1) 化肥中配施鸡粪有机肥显著增强了杨树苗叶片的光合作用,并明显提高了叶片的叶绿素含量;随着鸡粪有机肥比例的增加,杨树苗叶片的净光合速率、蒸腾速率、气孔导度和胞间CO₂浓度呈先升高后降低的趋势;鸡粪有机肥与化肥以3:7比例搭配处理的叶绿素含量分别比1:9和5:5比例搭配处理提高了17.63%和22.61%。

(2) 化肥中配施鸡粪有机肥明显提高了杨树苗的根系活力,增加了毛细根的重量和在根系体系中的比例,其中,3:7比例搭配处理的根系活力分别比1:9和5:5比例搭配处理提高了10.81%和18.41%。

(3) 化肥中配施鸡粪有机肥对杨树苗干物质中的养分含量影响较小,但明显增加了干物质积累量、养分吸收量和氮素利用率,其中,3:7比例搭配处理的氮素利用率分别比1:9和5:5比例搭配处理提高了26.53%和23.33%。

[参 考 文 献]

- [1] 毛知耘. 肥料学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1997.
- [2] 张世贤. 中国的农业及平衡施肥在农业生产上的应用[C]//国际平衡施肥学术讨论会论文集, 北京: 农业出版社, 1989.
- [3] 朱建国. 硝态氮污染危害与研究展望[J]. 土壤学报, 1995, 32(S): 62-69.
- [4] 徐福乐, 纵明, 杨峰, 等. 生物有机肥的肥效及作用机理[J]. 耕作与栽培, 2005(6): 8-9.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] 宋海星, 王学立. 玉米根系活力及吸收面积的空间分布变化[J]. 西北农业学报, 2005, 14(1): 137-141.
- [9] 王林权, 周春菊, 郑险峰, 等. 鸡粪和奶牛粪对小麦和油菜光合特性的影响[J]. 西北农业大学学报, 1997, 25(6): 41-46.
- [10] 张林, 韩振海, 李天忠, 等. 粉煤灰有机肥配施对苹果生长和果实品质的影响[J]. 北方园艺, 2008(4): 20-23.
- [11] 罗华, 李敏, 胡大刚, 等. 不同有机肥对肥城桃果实产量及品质的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2012, 18(4): 955-964.
- [12] Mahmoud K, Franz W, Abdullah U, et al. Root growth and N-uptake activity of oilseed rape (*Brassica napus* L) cultivars differing in nitrogen efficiency [J]. Journal of Plant Nutrition and Soil Science, 2005, 168(1): 130-137.
- [13] 高忠渊. 鸡粪有机肥对植烟土壤和烤烟烟叶品质的影响研究[D]. 福州: 福建农林大学, 2009.
- [14] 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.
- [15] Bertin C, Yang X, Weston L A. The role of root exudates and allelochemicals in rhizosphere [J]. Plant Soil, 2003, 256: 67-83.
- [16] Krey T, Caus M, Baum C, Ruppel S, et al. Interactive effects of plant growth-promoting rhizobacteria and organic fertilization on P nutrition of *Zea mays* L. and *Brassica napus* L [J]. Journal of Plant Nutrition and Soil Science, 2011, 174(4): 602-613.
- [17] 朱菜红, 董彩霞, 沈其荣, 等. 配施有机肥提高化肥氮利用效率的微生物作用机制研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2010, 16(2): 282-288.
- [18] 林葆, 林继雄, 李家康. 长期施肥的作物产量和土壤肥力变化[J]. 植物营养与肥料学报, 1994, 1(1): 6-18.
- [19] Marinari S, Masciandaro G, Ceccanti B, et al. Evolution of soil organic matter changes using pyrolysis and metabolic indices: A comparison between organic and mineral fertilization[J]. Bioresource Technology, 2007, 98(13): 2495-2502.