

灌溉方式对杨树根系分布及硝态氮运移的影响

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: 为了在传统灌溉模式的基础上探寻一种更实用有效的替代方式, 以欧美 F-107 杨为试材, 通过大田试验研究了常规漫灌(FI)和畦灌(BI)两种灌溉方式下 F-107 杨在 0—100 cm 土层的土壤含水量、水势、根系垂直分布特征及硝态氮运移的规律。结果表明, BI 在 0—40 和 60—100 cm 土层的含水量、水势均显著降低, 且土层越深差异也越大, 说明畦灌下的水分深层渗漏明显减弱; 随着土层深度的增加, BI 和 FI 下的根系生物量均逐层降低, 大量根系集中在 0—40 cm 土层, 其中在 0—20 cm 土层中, BI 的根量比 FI 减少 8.28%, 但在 20—80 cm 土层中根量却增加 35.87%, 并且在 0—80 cm 土层中的总根重增加 5.52%, 同时消根系数 β 也大于 FI。此外, BI 使 0—40 cm 土层的硝态氮含量显著升高, 而 60—100 cm 土层的硝态氮含量却明显降低。综合分析, 畦灌有利于杨树根系的合理分布, 扩大了根系对水分和养分的吸收空间, 并能减少硝态氮的深层淋溶, 这对于提高杨树潜在生产力、肥料利用率和保护地下水环境具有重要意义。

关键词: 欧美 F-107 杨; 灌溉方式; 根系生物量; 消根系数; 硝态氮

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2014)01-0070-04

中图分类号: S274.1

Effects of Different Irrigation Modes on Poplar Root Distribution and Nitrate Nitrogen Transport

JING Da-wei^{1,2}

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

Abstract: A field experiment with two treatments, i. e. FI (flood irrigation) and BI (border irrigation), was designed and performed for the purpose of exploring a more effective irrigation mode based on traditional mode. The study was conducted to determine the effect of different irrigation modes on soil water content, soil water potential and vertical distribution characteristics of poplar root system and nitrate transport pattern in 0—100 cm soil layer. Results showed that BI decreased the soil water content and water potential in 0—40 and 60—100 cm layers with increased soil depth, indicating the weakened water deep seepage in the BI treatment. Root biomass decreased along with increased soil depth. Additionally, most of the roots concentrated in the 0—40 cm soil layer. Compared with the FI treatment, the BI treatment decreased root biomass in the 0—20 cm soil layer by 8.28%, whereas that in the 20—80 cm increased by 35.87%. Besides, the BI treatment increased the total root biomass in 0—80 cm soil layer by 5.52%, resulting in a higher extinction coefficient (β). As a result from BI, additionally, the nitrate content in 0—40 cm soil layer significantly increased, whereas that in 60—100 cm significantly decreased. Hence, border irrigation benefited the poplar root distribution. In conclusion, the BI treatment encouraged reasonable poplar root distribution, benefited water and nutrient absorption, and reduced nitrate leaching, which are important for the increased fertilizer use efficiency, environment protection and potential productivity of poplar.

Keywords: *Populus × euramericana* cv. ‘Neva’; irrigation mode; root biomass; extinction coefficient; $\text{NO}_3 - \text{N}$

植物对于水分的需求与其所处环境的水分条件经常处于矛盾之中, 各种植物生长发育过程中, 经常处于水分亏缺或水分过多的环境之中^[1]。而生长在

不同生态条件下的植物根系, 其形态特征、分布状况以及生长发育规律都有它自己的特点^[2]。在灌水量较少的地区大多数植物都具有较发达的根系, 尽管在

深层土壤中仅有少量的根系存在,但它们对植物的水分吸收却发挥着非常重要的作用^[3-4]。水分条件的改变影响到植物根系拥有地下营养空间的大小和对土壤营养及水分的利用,也直接影响到地上部分产量的高低。

杨树是北方平原与沙区营造防护林和用材林的主要树种,品质繁多,栽培面积大,在生态环境治理和解决木材短缺方面均占有重要的地位。目前,虽然已经有比较成熟的微灌技术,但由于成本高,主要应用于黄瓜、番茄、棉花等农作物上^[5-7],而在林木生产上的应用较少。在大部分林木的造林管理中仍然以传统的漫灌为主要的灌溉方式。关于不同灌溉方式对土层中硝态氮运移的研究主要集中在农作物方面^[6,8],而在杨树方面的研究尚未见报道。为此,本文以 5 年生的欧美 I-107 杨为研究对象,对比分析在原有的漫灌方式与改进的畦灌方式下欧美 I-107 杨根系的垂直分布规律及硝态氮运移的变化特征,目的是在评价根系分布的同时,研究不同灌溉方式对环境(表层和深层土壤)的影响效果,为干旱区人工林的水分利用和合理调控灌溉提供理论支持和科学依据。

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济南市北郊林场,地理坐标为北纬 $36^{\circ}40'$,东经 $117^{\circ}00'$,属暖温带大陆性季风气候区,四季分明,日照充分,年平均气温 14°C ,年平均降雨量 $650\sim 700\text{ mm}$ 。供试土壤为潮土,土壤速效 N 19.65 mg/kg ,速效 P 14.32 mg/kg ,速效 K 45.79 mg/kg ,有机质含量 7.83 g/kg 。所用化肥为尿素、磷酸一铵和氯化钾,肥料用量为常规施肥量,相当于 N 205.28 kg/hm^2 , P_2O_5 70.38 kg/hm^2 和 K_2O 58.65 kg/hm^2 的施肥水平。杨树为 5 年生 I-107 欧美杨人工林,株行距 $2.5\text{ m}\times 5\text{ m}$,南北行向,林木生长均匀,平均树高 12.75 m ,平均胸径 12.36 cm 。

1.2 试验设计

2012 年 4 月 5 日试验开始进行,设 2 个处理:FI(根据农民的经验灌水量设 $3\ 600\text{ m}^3/\text{hm}^2$ 为灌溉定额,4, 6, 8, 10 月每月 $900\text{ m}^3/\text{hm}^2$)和 BI(根据杨树根系的水平分布和灌溉水的侧渗距离,设定畦宽 1.0 m , $720\text{ m}^3/\text{hm}^2$ 为灌溉定额,4—10 月每月 $103\text{ m}^3/\text{hm}^2$)。每个小区有杨树 30 株,重复 3 次,随机区组排列,管理措施相同。根据杨树的生长发育状况,以畦灌为基准确定灌水时间,两种灌溉方式同时灌水,灌水量用精确度为 0.01 m^3 的水表计量。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 土壤含水量、水势的测定及根系分布调查

2012 年 10 月进行根系调查,在两种不同灌溉方式下的杨树中随机各选取 10 株,对所选植株的根系采用分层分段挖掘法,以植株根茎为圆心,水平距离每 30 cm 为一段,自地表向下每 20 cm 为一层进行分层分段取土,挖掘过程中采用根系追踪法和过筛法把每层的根系全部取出。挖掘根系之前,在所挖掘的植株附近利用 1 m 土钻取土样,每 20 cm 为一层,用烘干法测定土壤含水量,同时利用 TRS-II 便携式土壤水势测定仪对各个土层的水势进行测定。将取回的各层各段根样带回实验室内冲洗干净,待根系恢复原状后放入烘箱于 80°C 下烘干至恒重,然后称重计算出各个层次的根系生物量。

1.3.2 0—100 cm 土层硝态氮运移的测定 以畦灌的灌溉周期为参考,利用土钻分别取灌水前、灌水当天及灌水后 7, 14, 29 d 的 0—20, 20—40, 40—60, 60—80 和 80—100 cm 土壤,每个处理 6 次重复,同层混合均匀,用连续流动分析仪测定硝态氮含量。

1.4 数据分析

采用 SPSS 17.0 进行数据统计,利用 Excel 2007 和 Sigmaplot 10.0 分别进行数据计算和图形制作。

2 结果与分析

2.1 不同灌溉方式下土壤含水量、水势的垂直变化

不同灌溉方式对杨树样地内土壤含水量和土壤水势的影响如图 1 所示。由图 1 可见,漫灌和畦灌处理在 0—20 cm 表层的土壤含水量均是最低,随着土层深度的增加,其土壤含水量均呈逐渐升高的趋势。畦灌在 40—60 cm 土层的含水量与漫灌差异不显著,而在 0—20, 20—40, 60—80 和 80—100 cm 土层分别比漫灌降低了 10.18%, 10.31%, 14.97% 和 15.58%,差异均达显著水平,并且随着土层深度的增加,其差异呈逐渐增大的趋势。这说明畦灌比漫灌的水分深层渗漏明显减弱。土壤水势与土壤含水量表现出基本一致的变化规律。畦灌在 0—40 和 60—100 cm 土层的土壤水势均明显低于漫灌,而在 40—60 cm 土层差异不显著。

2.2 不同灌溉方式下根系生物量的垂直分布

从图 2 可见,畦灌和漫灌条件下,杨树根系生物量在土壤中垂直分布趋势基本一致,即随着深度的增加,根系生物量均逐渐减少。同时可以看出,大量根系分布在 0—40 cm 的土层内,40 cm 以下各层根干重显著减小,使根呈“倒金字塔”型分布。不同灌溉方式之间,杨树根系垂直分布特征也有显著差异。在

0—20 cm 土层,畦灌的根系生物量比漫灌降低了 8.28%,差异达显著水平;但随着土层深度的增加,畦灌在 20—80 cm 土层的根系生物量却比漫灌增加了 35.87%,其中在 20—40,40—60 和 60—80 cm 土层分别比漫灌增加了 22.97%,52.48%和 116.76%,差异均达显著水平,并且在 0—80 cm 土层的总根重也比漫灌增加了 5.52%。通过观察还发现,畦灌的根系扎根深度也明显大于漫灌。此外,在 0—20 cm 土层中,漫灌方式下的根系生物量占总根重的 68.74%,而畦灌只有 59.75%。这表明漫灌使杨树根系生物量向表层集中的趋势很明显,而畦灌能够增加杨树根系的总生物量,尤其是深层的根系生物量。

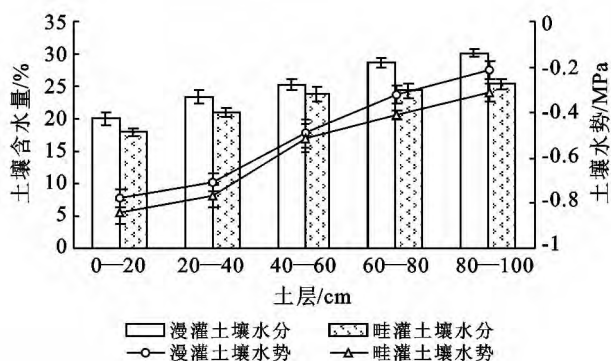


图 1 不同灌溉方式下土壤含水量及土壤水势

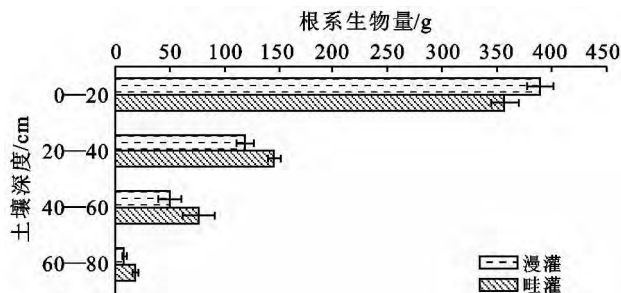


图 2 不同灌溉方式下杨树根系生物量的垂直分布

2.3 不同灌溉方式下根系垂直分布特征参数

Gale 等^[4]通过对不同树种不同演替阶段根系的分布特征的研究,提出了一个根系垂直分布模型:

$$Y=1-\beta^d$$

式中:Y——从地表到一定深度的根系生物量累积百分比; d ——土层深度(cm); β ——根系消弱系数。其中 β 值越大说明根系在深层土壤中分布的百分比越大;反之, β 值越小,则说明有更多的根系集中分布于接近地表的土层中。 β 值的大小与根系体积或根系密度无关,只是说明了根系垂直分布特征的关系,引入 β 值描述杨树根系分布与土壤深度间的关系。利用 Sigmaplot 的函数拟合功能,对不同灌溉方式下杨树根系垂直分布特征参数进行求解,计算出不同灌

溉方式下的 β 值(表 1)。从表 1 可知,畦灌处理的消弱系数大于漫灌,说明畦灌方式下可以使杨树根系在深层土壤中分布的百分比增大。

表 1 不同灌溉方式下杨树的根系消弱系数

| 处理 | 消弱系数 | 相关系数 |
|----|-------|-------|
| 漫灌 | 0.952 | 0.982 |
| 畦灌 | 0.981 | 0.969 |

2.4 不同灌溉方式下硝态氮的运移

对不同灌溉方式下 0—100 cm 土层灌溉前后土壤中硝态氮的测定结果如图 3 所示。随土层深度的增加,硝态氮含量逐渐降低且变化幅度减小;灌溉方式不同,硝态氮运移的规律不同,并且不同土层之间的差异也较明显。对于 0—20 cm 土层而言,灌溉前畦灌与漫灌的硝态氮含量差异不显著,灌溉当天两个处理硝态氮含量均呈现降低的趋势,漫灌的降低幅度较大,比灌溉前降低了 36.49%,畦灌相对较小,比灌溉前减少了 25.13%。灌溉后随着蒸发的进行,两个处理的硝态氮含量逐渐增加,其中漫灌增加的幅度较大,但灌溉周期结束(以畦灌的灌溉周期为参考)时硝态氮含量仍然是畦灌>漫灌。主要是因为漫灌灌水量大,淋洗量高,造成表层硝态氮含量较低,而畦灌灌水量少,淋洗量也少,使留在表层的硝态氮量相对较多。20—40 cm 土层在灌溉周期内硝态氮的运移规律与 0—20 cm 基本一致,只是硝态氮含量相对较低。40—60 cm 土层的硝态氮含量在两种不同的灌溉方式下差异不显著。60—80 cm 土层,灌溉前畦灌与漫灌的硝态氮含量差异不显著,灌溉当天漫灌显著高于畦灌,灌溉后随着蒸发的进行,两个处理的硝态氮含量缓慢降低,但均是漫灌>畦灌。80—100 cm 土层在灌溉前和灌溉当天,畦灌与漫灌的硝态氮含量均差异不显著,但灌溉后随着上层土壤的进一步淋溶,畦灌的硝态氮含量均显著低于漫灌,在灌溉后 7,14 和 29 d,畦灌的硝态氮含量分别比漫灌减少了 21.84%, 20.24%和 19.53%。

3 讨论

3.1 灌溉方式与根系垂直分布及消弱系数

根系分布是指根在空间梯度或格点上的存在状态。根系分布特征及对环境的抵御能力是植物生长和稳定性的主要因素,尤其在干旱、半干旱地区^[3,9]。有研究表明,由于根系的分布深度影响到植物地下营养空间的大小和对土壤水分、养分的利用,进而直接影响到植物地上部分的生长和功能效益的发挥。

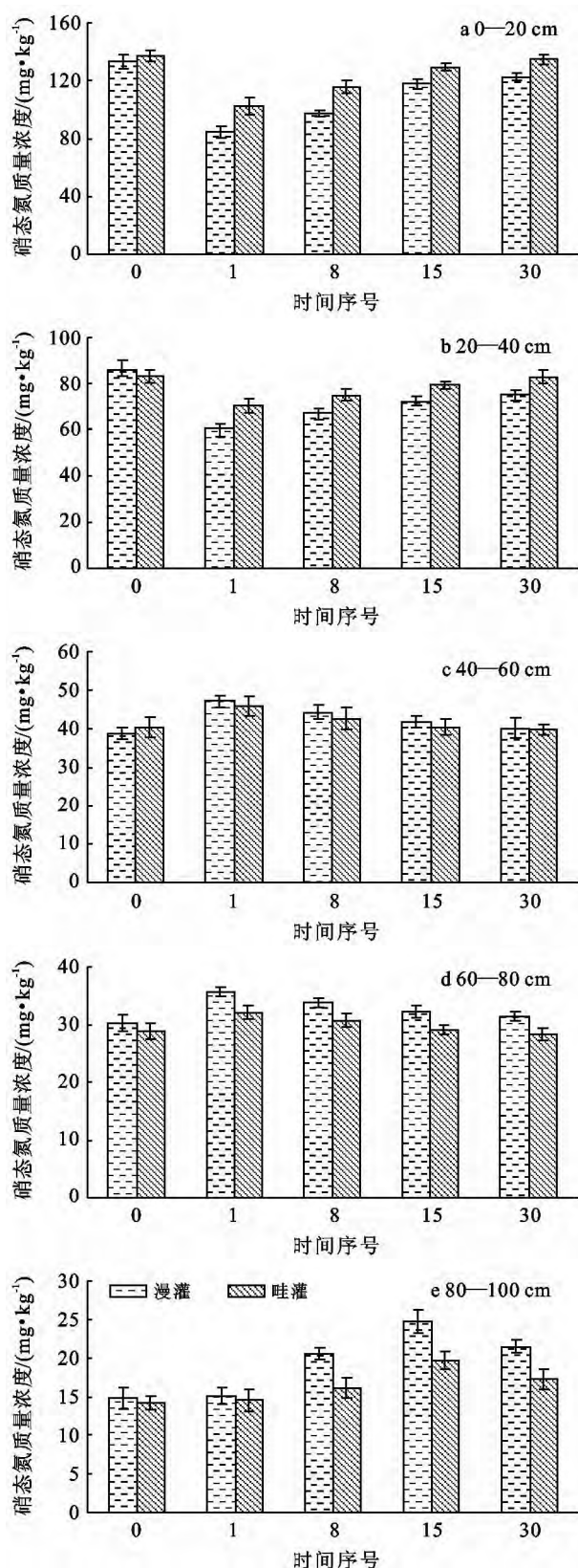


图 3 不同灌溉方式下硝态氮的运移情况

注:横轴 0 为灌溉前; 1 为灌溉当天; 8 为灌溉后第 7 d; 15 为灌溉后第 14 d; 30 为灌溉后第 29 d。

本试验研究认为,不同灌溉方式下,杨树根系生物量的垂直分布随土壤深度的增加呈逐渐减少的趋

势,这符合植物根系垂直分布的普遍规律,与大多数研究者报道基本一致^[10-12]。试验还发现,在 0—20 cm 土层,漫灌方式下的杨树根系生物量显著高于畦灌,并且根量占根系总量的百分比达到了 68.74%,而畦灌只有 59.75%;但在 20—80 cm 土层,畦灌的根系生物量却比漫灌增加了 35.87%,而且根系的扎根深度也明显大于漫灌。根系垂直分布模型中消根系数 β 的变化也说明畦灌相比漫灌能使根系在深层土壤中分布的百分比增大。这主要是由于漫灌的灌水量较大,满足了杨树对水分的需求,根系向下伸展的“积极性”降低,根系生物量主要集中在上层,根系所占有的空间相对较小;而畦灌由于灌水量较小,杨树为了获取更多的水分维持其生长发育,根系向下伸展的较深,根系所占有的空间相对较大。

3.2 灌溉方式与硝态氮运移

有研究表明,灌溉方式影响了水分的运移规律,而土壤盐分的变化与水分运动是分不开的,温度势梯度下土壤盐分的迁移仍然以水分运动为基础^[13]。因此,灌溉方式还会对盐分的运移产生影响。本文两种不同的灌溉方式下硝态氮的运移规律有明显的差异。在 0—40 cm 土层,畦灌的硝态氮含量显著高于漫灌,这可能与该土层的含水量、水势变化规律有关,随着土壤含水量的降低,硝态氮含量呈增加的趋势。这与孙丽萍等^[8]的研究结果一致。在 60—100 cm 土层,畦灌的硝态氮含量显著低于漫灌。可见,畦灌有助于表层硝态氮的累积,而杨树根系主要分布在这个范围,故有利于杨树对养分的吸收利用,降低了硝态氮的深层淋失,提高了肥料利用率;而漫灌使较多的硝态氮向深层淋溶,这不仅造成了养分的大量流失而且还会对地下水环境的污染构成潜在的威胁。

4 结论

畦灌使欧美 I-107 杨在 0—40 和 60—100 cm 土层的含水量、水势均显著降低,并且土层越深差异也越大,说明畦灌下的水分深层渗漏明显减弱;随着土层深度的增加,畦灌和常规漫灌下的根系生物量均逐层降低,大量根系集中在 0—40 cm 土层,其中在 0—20 cm 土层中,畦灌的根量比漫灌减少了 8.28%,但在 20—80 cm 土层中根量却增加了 35.87%,并且在 0—80 cm 土层中的总根重增加了 5.52%,同时消根系数 β 也大于漫灌。此外,畦灌使 0—40 cm 土层的硝态氮含量显著升高,而 60—100 cm 土层的硝态氮含量却明显降低,其中在 80—100 cm 土层中,灌溉后 7, 14 和 29 d,畦灌的硝态氮含量分别比漫灌减少了 21.84%, 20.24% 和 19.53%。

(下转第 78 页)

高留茬处理使其出现时间推迟。分析认为,由于白天秸秆对太阳辐射的反射造成地表温度较正常情况下低,蒸发减慢,造成日蒸发强度最大值出现滞后。

4 结 论

(1) 秸秆覆盖和高留茬对土壤水分蒸发的抑制作用主要表现在灌溉后土壤含水量较高的阶段内。

(2) 天气晴朗条件下日蒸发强度在 10:30 左右即达最大值,提前于曝辐量最大值出现时间,秸秆覆盖和高留茬处理使其出现时间推迟。

(3) 土壤含水量较高时松土对土壤水分蒸发无抑制作用,而在土壤含水量降低到一定程度时松土能明显抑制土壤水分蒸发。

[参 考 文 献]

- [1] 刘昌明. 土壤—植物—大气系统水分运行的界面过程研究[J]. 地理学报, 1997, 52(4): 366-372.
- [2] 程维新, 赵家义. 关于灌溉农田作物耗水量研究[M]. 北京: 气候出版社, 1994.
- [3] 王政友. 土壤水分蒸发的影响因素分析[J]. 山西水利, 2003(2): 26-29.
- [4] 张立强, 汪有科, 员学峰, 等. 小麦高留茬田间水分效应研究[J]. 中国农学通报, 2006, 22(11): 461-466.
- [5] 由愚正, 张喜英. 小麦高留茬覆盖的生态农业意义[J].

生态农业研究, 1999, 7(2): 53-55.

- [6] 高建华, 张承中. 不同保护性耕作措施对黄土高原旱作农田土壤物理结构的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2010, 28(4): 192-196.
- [7] 袁家富. 麦田秸秆覆盖效应及增产作用[J]. 生态农业研究, 1996, 4(3): 61-65.
- [8] 周凌云, 周刘宗, 徐梦雄. 农田秸秆覆盖节水效应研究[J]. 生态农业研究, 1996, 4(3): 49-52.
- [9] 李春勃, 范丙全, 孟春香, 等. 麦秸覆盖旱地棉田少耕培肥效果[J]. 生态农业研究, 1995, 3(3): 52-55.
- [10] Flerchinger G N, Sauer T J, Aiken R A. Effects of crop residue cover and architecture on heat and water transfer at the soil surface[J]. Geoderma, 2003, 116(1): 217-233.
- [11] 沈裕琥, 黄相国, 王海庆. 秸秆覆盖的农田效应[J]. 干旱地区农业研究, 1998, 16(1): 46-50.
- [12] 王会肖, 刘昌明. 农田蒸散、土壤蒸发与水分有效利用[J]. 地理学报, 1997, 52(5): 447-454.
- [13] 李玲玲, 黄高宝, 张仁陟, 等. 不同保护性耕作措施对旱作农田土壤水分的影响[J]. 生态学报, 2005, 25(9): 2326-2332.
- [14] Balwinder-Singh. The effect of rice straw mulch on evapotranspiration, anspiration and soil evaporation of irrigated wheat in Punjab, India [J]. Agricultural Water Management, 2011, 98(12): 1847-1855.

(上接第 73 页)

由此可见,畦灌有利于杨树根系的合理分布,扩大了根系对水分和养分的吸收空间,并且能减少硝态氮的深层淋溶,这对于提高杨树潜在生产力、肥料利用率和保护地下水环境具有重要意义。

[参 考 文 献]

- [1] 曾小平, 赵平, 彭少麟. 鹤山人工马占相思林水分生态研究[J]. 植物生态学报, 2000, 24(1): 69-73.
- [2] 孙祥, 于卓. 白刺根系的研究[J]. 中国沙漠, 1992, 12(4): 50-54.
- [3] Jackson R B, Canadell J, Mooney H A. A global analysis of root distribution for terrestrial blomes[J]. Oecologia, 1996, 180(3): 389-411.
- [4] Gale M R, Grigal D E. Vertical root distribution of northern tree species in relation to successional status [J]. Canadian Journal of Forest Research, 1987, 17(8): 829-834.
- [5] 齐广平, 张恩和. 膜下滴灌条件下不同灌溉量对番茄根系分布和产量的影响[J]. 中国沙漠, 2009, 29(3): 463-467.
- [6] 韦彦, 孙丽萍, 王树忠, 等. 灌溉方式对温室黄瓜灌溉水分配及硝态氮运移的影响[J]. 农业工程学报, 2010, 26

(8): 67-72.

- [7] 闫映宇, 赵成义, 盛钰, 等. 膜下滴灌对棉花根系、地上部分生物量及产量的影响[J]. 应用生态学报, 2009, 20(4): 970-976.
- [8] 孙丽萍, 温永刚, 王树忠, 等. 灌水量对日光温室黄瓜水分分配及硝态氮运移的影响[J]. 中国农业大学学报, 2012, 17(1): 93-99.
- [9] Huston M A, Smith T M. Plant succession; Life history and competition [J]. The American Naturalist, 1987, 130(2): 168-198.
- [10] 李生字, 李红忠, 雷加强, 等. 塔克拉玛干沙漠高矿化度水灌溉苗木地下生物量研究[J]. 西北植物学报, 2005, 25(5): 999-1006.
- [11] 张宇清, 朱清科, 齐实. 梯田生物埂几种灌木根系的垂直分布特征[J]. 北京林业大学学报, 2006, 28(2): 34-38.
- [12] 秦艳, 王林和, 张国盛, 等. 毛乌素沙地臭柏与油蒿群落细根生物量的季节动态及其空间变化[J]. 中国沙漠, 2008, 28(3): 455-461.
- [13] Hu Jichao, Cao Weixing, Zhang Jiabao, et al. Quantifying responses of winter wheat physiological processes to soil water stress for use in growth simulation modeling [J]. Pedosphere, 2004, 14(4): 509-518.