

## 地面滴灌对 107 杨人工林根系分布的影响

傅建平<sup>1</sup>, 兰再平<sup>1</sup>, 孙尚伟<sup>1</sup>, 刘俊琴<sup>1</sup>, 张勇<sup>2</sup>

(1. 中国林业科学研究院世界银行项目办公室,北京 100091; 2. 北京市大兴区林场,北京 102602)

**摘要:**为了探索地面滴灌栽培 107 杨 (*Populus × euramericana* cv. '74/76') 人工林根系的生长和发育特征及分布规律,采用全挖法和分层分段挖掘法对北京市永定河故道沙地滴灌栽培和常规栽培的 2 年生杨树个体和林分根系进行了全面调查,系统分析了 2 种栽培条件下杨树个体和林分根系的数量、长度和生物量及其垂直和水平分布规律。结果表明:(1) 滴灌栽培杨树的主根分布深度仅为 1.3 m,而常规栽培杨树的主根分布深度达到 4.5 m;滴灌栽培杨树根系行间方向分布范围是常规栽培的 1.8 倍,顺行方向分布范围是常规栽培的 1.2 倍;滴灌栽培杨树侧根数量是常规栽培的 2.0 倍。(2) 滴灌栽培杨树个体根系总长和生物量分别是常规栽培的 1.8 倍和 1.2 倍,主根和 I 级侧根的总长和生物量与常规栽培近乎相同,而 II 级和 III 级侧根的总长和生物量则远远大于常规栽培。(3) 滴灌栽培杨树林分根系总长和生物量分别是常规栽培的 2.0、1.1 倍,径级在  $5 \leq D < 10$  mm、 $10 \leq D < 15$  mm 和  $D \geq 15$  mm 的根总长和生物量与常规栽培相近,而径级在  $D < 1$  mm 和  $1 \leq D < 5$  mm 的根总长和生物量远大于常规栽培。(4) 滴灌栽培和常规栽培杨树的根系均主要分布在 0~40 cm 的土层内,滴灌栽培 4/5 和常规栽培 2/3 的根系特别是吸收根 ( $D < 1$  mm) 分布在 0~20 cm 深的土层内。(5) 滴灌栽培和常规栽培杨树林分的吸收根主要分布在距离树干基部 0~1.0 m 的范围内,滴灌栽培杨树林分的吸收根主要分布在株间方向(滴灌带铺设方向),常规栽培杨树林分的吸收根则相对均匀分布在树体四周。

**关键词:**地面滴灌;107 杨;根系;分布;生物量

**中图分类号:**S725.3

**文献标识码:**A

### A Study on Distribution of Root System of *Populus × euramericana* cv. '74/76' Plantation with Ground Drip Irrigation

FU Jian-ping<sup>1</sup>, LAN Zai-ping<sup>1</sup>, SUN Shang-wei<sup>1</sup>, LIU Jun-qin<sup>1</sup>, ZHANG Yong<sup>2</sup>

(1. World Bank Loan Project Office, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China;

2. Forest Farm of Daxing District, Beijing 102602, China)

**Abstract:** Aiming at studying the growth and development of root system as well as its distribution of poplar plantation with ground drip irrigation cultivation (DIC), a comprehensive survey was conducted with methods of digging out whole root system of individual and digging out root pieces in different vertical and horizontal locations in the soil of 2-year-old poplar plantation with DIC and conventional irrigation cultivation (CIC) at sandy land of the former Yongding River watercourse in Beijing. A systematic analysis was made on the quantity, length and biomass of individual and stand root system as well as their vertical and horizontal distribution characteristics under the two cultivation conditions. The conclusions of study are as follows: (1) The depth of poplar taproot with DIC is 1.3 m, while that with CIC is 4.5 m, the distribution range of lateral roots of poplar with DIC is 1.8 times and 1.2 times that of CIC in direction along row and cross row, respectively. The quantity of lateral roots of poplar with DIC is 2.0 times

收稿日期:2013-01-06

基金项目:国家林业局引进国际先进林业科学技术项目“速生丰产林自动化节水灌溉与高效栽培管理技术引进”(2009-4-48)

作者简介:傅建平(1985—),男,江西吉安人,硕士研究生,主要从事人工林节水高效栽培研究. E-mail: fjp0615@163.com

通讯作者:男,研究员,硕士生导师,主要从事森林培育学与森林生态学研究. E-mail: zplan@139.com

that of with CIC. (2) The total length and biomass of individual root system of poplar with DIC is 1.8 times and 1.2 times that of with CIC respectively, while the total length and biomass of taproot and level-I lateral roots of poplar with DIC are similar to those with CIC, and the total length and biomass of level-II lateral roots and level-III lateral roots of poplar with DIC are far more than those with CIC. (3) The stand root system and biomass of poplar with DIC is 2.0 times and 1.1 times that of with CIC respectively, while the total length and biomass of the roots with diameter of  $5 \leq D < 10$  mm,  $10 \leq D < 15$  mm and  $D \geq 15$  mm of poplar stand with DIC are similar to those with CIC, and the total length and biomass of the roots with diameter of  $D < 1$  mm and  $1 \leq D < 5$  mm of poplar stand with DIC are far more than those with CIC. (4) The root system of poplar stand with both DIC and CIC mainly distributes in the soil with the depth of 0 ~ 40 cm, and about 4/5 and 2/3 of the poplar stand roots (especially absorbing roots with  $D < 1$  mm) with DIC and CIC distribute in the soil with the depth of 0 ~ 20 cm. (5) The absorbing roots ( $D < 1$  mm) of poplar stand with both DIC and CIC mainly distribute in the soil 0 ~ 1.0 m from the tree, while the absorbing roots ( $D < 1$  mm) of poplar stand with DIC mainly distributes along the role direction (along drip tube), and the absorbing roots ( $D < 1$  mm) of poplar stand with CIC relatively distributes in the soil around the tree.

**Key words:** ground drip irrigation; *Populus × euramericana* cv. '74/76'; root system; distribution; biomass

我国杨树人工林面积已达 757 万  $\text{hm}^2$ , 占全国人工乔木林总面积的 18.93%, 仅次于杉木人工林。由于绝大部分杨树人工林林地为非宜农地, 立地条件较差, 经营管理粗放, 生产力普遍较低, 以河北、山东、湖北和江苏等省的杨树人工林中龄林为例, 蓄积生长量分别仅为 3.8、5.9、3.9、9.2  $\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$  [1], 随着我国木材需求量的逐年增加, 大幅提高杨树人工林生产力的要求显得极为迫切。滴灌技术以其节水、节肥、节能、高效的突出优势, 已经广泛应用于农业领域 [2-6]。近年来, 滴灌技术在林业领域的应用也受到越来越多的关注, 美国、澳大利亚、以色列、新西兰和南非等国家已经将滴灌技术应用于培育经济林和用材林的生产实践中 [7-11]。美国绿木源公司已经成功运用滴灌技术, 在 Oregon 州的 Boardmand 林场培育了 10 400  $\text{hm}^2$  的杨树人工林, 12 年林龄杨树人工林蓄积生长量达到 43.75  $\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ , 取得了显著的经济效益和生态效益。在国内, 将滴灌技术应用于杨树人工林栽培的研究较少, 在河流故道沙地以及风蚀沙地上栽培杨树人工林, 采用漫灌或沟灌等传统灌溉方式即浪费大量水资源又会对地下水造成污染, 采用滴灌技术栽培杨树人工林既能节约水资源又能避免对地下水造成污染, 同时还能极大地提高杨树人工林的生产力。

本文对地面滴灌栽培杨树的根系进行全面、系统的研究, 同时以常规栽培作对比, 探索地面滴灌栽培杨树人工林根系的生长和发育特征及分布规律, 揭示滴灌栽培比常规栽培能够大幅提高杨树人工林生产力的主要原因。目前, 有关常规栽培杨树根系

的研究已有很多报道, 主要是研究杨树个体和林分根系的形态特征、分布和生物量等 [12-16]; 有关滴灌栽培杨树根系的研究, 在国内只见关于地下滴灌栽培杨树根系研究的报道 [17]。

## 1 研究地概况

研究地位于北京市大兴区的北京市大兴区林场, 本地属暖温带半湿润半干旱季风气候, 春季干旱多风, 夏季炎热多雨, 年平均气温 11.6  $^{\circ}\text{C}$ , 年平均降水量 552.9 mm, 年均蒸发量 2 000 mm, 无霜期 180 ~ 200 d。

研究地土壤为永定河故道冲积沙土。土壤剖面调查表明, 土壤从地表向下 1.2 m 无明显腐殖质层, 为质地均匀的细沙。地下水位深 36 m, 土壤密度  $(1.46 \pm 0.15) \text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ , 土壤田间持水量  $10\% \pm 1.2\%$ , 土壤有机质含量低于  $2 \text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 土壤蓄水保肥能力差。

## 2 研究方法

### 2.1 试验设计

采用滴灌栽培和常规栽培的 2 年生欧美杨 107 无性系 (*Populus × euramericana* cv. '74/76') 人工林作为研究对象。该人工林于 2011 年春季采用 30 cm 长的插条扦插造林, 株行距为 2 m × 4 m, 滴灌栽培和常规栽培的杨树人工林面积均为 6.67  $\text{hm}^2$ 。

滴灌栽培沿株间方向铺设滴灌带, 常规栽培沿株间方向开沟灌溉。从 4 月初到 9 月底, 滴灌栽培采用少量多次的方式灌溉, 每次灌水量 4.5 ~ 7.5

mm,灌水总量为250 mm;常规栽培灌溉5次,春季2次、夏季2次和秋季1次,每次灌水量50 mm,灌水总量为250 mm。滴灌栽培施肥随灌水进行,施9次,施肥总量为尿素 $195.67 \text{ g} \cdot \text{株}^{-1}$ 、磷酸一铵 $25.02 \text{ g} \cdot \text{株}^{-1}$ ;常规栽培施肥3次,施肥后灌水,施肥总量与滴灌栽培相等。

## 2.2 研究方法

调查杨树根系之前,于2012年10月,对滴灌栽培林分和常规栽培林分进行生长量调查,调查结果表明:滴灌栽培的杨树林分平均胸径6.1 cm,平均树高7.2 m;常规栽培的杨树林分平均胸径4.2 cm,平均树高5.0 m。采用全挖法<sup>[18-19]</sup>对2年生杨树单株根系进行调查和测定,采用分层分段挖掘法<sup>[20]</sup>对2年生杨树林分根系进行调查和测定。

**2.2.1 全挖法** 在滴灌(DI)区与常规灌溉(NI)区分别选择1株标准木,标准木的胸径和树高与对应灌溉区的平均胸径和平均树高相等。将其完整根系挖出,调查主根和I级、II级、III级侧根数量和根长,并分别测定其鲜质量和干质量,计算各级侧根的数量、根总长及根生物量。

**2.2.2 分层分段挖掘法** 在DI区与NI区随机划出一块长100 m,宽16 m的样地,在样地中各选择4株标准木,分别在4株标准木与相邻木的株间、行间以及斜对角(西北和西南)方向(图1)挖掘50 cm宽的沟直到相邻树木基部,分土层(0~20、20~40 cm)、分段(每段50 cm长)取土。将各层土壤用筛子过筛,拣出所有根系,按 $D < 1 \text{ mm}$ ,  $1 \leq D < 5 \text{ mm}$ ,  $5 \leq D < 10 \text{ mm}$ ,  $10 \leq D < 15 \text{ mm}$ 和 $D \geq 15 \text{ mm}$ 的标准分为5级,并用米尺和电子天平测量每级根系根长、根鲜质量和干质量,用Excel2007统计各层、各段土壤中各等级根系的根总长和根生物量,并换算成单位面积林地的根总长与根生物量。

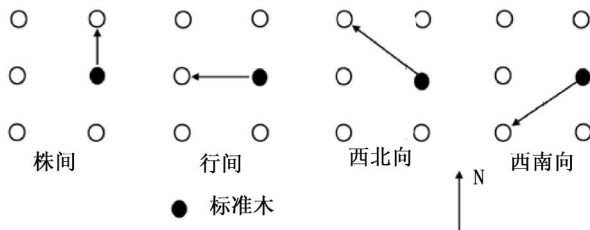


图1 林分根系挖掘示意图

## 3 结果与分析

### 3.1 个体根系

**3.1.1 根系的总体特征与数量** 调查结果表明:DI

区和NI区杨树的根系主要分布在0~40 cm的土层内。DI区杨树主根长度为1.3 m,NI区杨树主根长度为4.5 m,NI区主根长度为DI区的3.5倍。在水平方向上,DI区杨树根系分布呈现近似圆形,行间方向根幅半径为4.1 m,顺行方向根幅半径为4.7 m;NI区杨树根系分布呈现椭圆形,行间方向根幅半径为2.3 m,顺行方向根幅半径为3.9 m;DI区根系行间方向分布范围是NI区的1.8倍,DI区根系顺行方向分布范围是NI区的1.2倍。DI区和NI区杨树I级、II级和III级侧根数量参见表1。

表1 不同灌溉方式下杨树I级、II级和III级

灌溉方式	侧根数量			合计
	I级侧根	II级侧根	III级侧根	
滴灌(DI)	33	256	197	486
常规灌溉(NI)	27	127	95	249

从表1可以看出:DI区杨树各级侧根数量之比为I级:II级:III级=1.0:7.8:6.0,NI区杨树各级侧根数量之比为I级:II级:III级=1.0:4.7:3.5。

DI区和NI区杨树的II级侧根数量分别都比同区III级侧根的数量多,而且II级侧根的数量均为III级侧根数量的1.3倍。

DI区杨树侧根的总数是NI区的2.0倍,其中,DI区I级、II级和III级侧根数量分别为NI区的1.2、2.0、2.1倍,说明DI区的I级杨树侧根数量略大于NI区,而II、III级侧根的数量则远远大于NI区。

滴灌栽培的杨树根系比常规栽培的杨树根系显著发达,说明滴灌栽培非常有利于杨树根系的生长和发育;然而,滴灌栽培杨树的主根分布深度却明显小于常规栽培,这是因为滴灌仅对0~40 cm的土壤进行灌溉,灌水次数多,表层土壤水分已能充分满足杨树的根系生长;常规灌溉使水分下渗到深层土壤,但因灌水次数少,表层土壤经常处于相对缺水状态,主根则往土壤含水量相对较高的深层土壤生长。

**3.1.2 杨树根系总长与生物量** 从表2中可以看出:DI区杨树各级侧根总长之比为I级:II级:III级=1.0:2.1:1.3,II级侧根总长>III级侧根总长>I级侧根总长。

NI区杨树各级侧根总长之比为I级:II级:III级=1.0:1.5:0.7,II级侧根总长>I级侧根总长>III级侧根总长。DI区杨树根系总长是NI区的1.8倍,其中,DI区I级、II级和III级侧根总长分别为NI区的1.3、1.9、2.5倍,说明DI区杨树的I级侧根总长略大于NI区,而II、III级侧根的总长则远大于NI区。

表 2 不同灌溉方式下杨树根系总长和生物量

项目	灌溉方式	主根	I 级侧根	II 级侧根	III 级侧根	合计
根总长/m	滴灌 (DI)	1.3	55.6	116.4	70.9	244.2
	常规灌溉 (NI)	4.5	42.2	61.6	28.1	136.4
生物量/g	滴灌 (DI)	774.2	610.7	290.5	100.2	1 775.6
	常规灌溉 (NI)	746.7	640.0	107.0	41.9	1 535.5

DI 区杨树主根和各级侧根生物量之比为主根: I 级侧根: II 级侧根: III 级侧根 = 7.7: 6.1: 2.9: 1.0, NI 区杨树主根和各级侧根生物量之比为主根: I 级侧根: II 级侧根: III 级侧根 = 17.8: 15.3: 2.7: 1.0。两区杨树根系生物量均表现为主根略大于 I 级侧根而且幅度相似(大 0.2 ~ 0.3 倍), II 级侧根生物量比 III 级侧根生物量大而且幅度相似(大 1.7 ~ 1.9 倍)。

DI 区杨树主根和 I 级侧根的生物量占根系总生物量的 78.00%, NI 区杨树主根和 I 级侧根的生物量占根系总生物量的 90.31%, 表明滴灌栽培更有利于 II 级侧根和 III 级侧根的生长发育。

DI 区杨树根系生物量是 NI 区的 1.2 倍, 其中, DI 区主根、I 级、II 级和 III 级侧根生物量分别为 NI 区的 1.0、1.0、2.7、2.4 倍, 表明 DI 区杨树的主根、I 级侧根生物量与 NI 区近乎相同, 而 DI 区 II、III 级侧根的生物量则远大于 NI 区。

滴灌栽培与常规栽培相比, 根总长增加了 0.8 倍, 而根生物量只增加了 0.2 倍, 滴灌栽培和常规栽

培的杨树所生长和发育出的主根和 I 级侧根的生物量近乎相同, 而 II 级和 III 级侧根的生物量却相差悬殊, 说明滴灌栽培的杨树根系主要是其 II 级和 III 级侧根远比常规栽培的发达。

3.2 林分根系

3.2.1 根总长与根生物量的总体特征 从表 3 中可以看出: DI 区林分的根总长是 NI 区的 2.0 倍, 其中, DI 区  $D < 1$  mm 和  $1 \leq D < 5$  mm 的根总长分别是 NI 区的 2.1、1.6 倍, 而  $5 \leq D < 10$  mm、 $10 \leq D < 15$  mm 和  $D \geq 15$  mm 的根总长分别与 NI 区相应径级的根总长相近; DI 区林分的根生物量是 NI 区的 1.1 倍, 其中, DI 区  $D < 1$  mm 和  $1 \leq D < 5$  mm 的根生物量分别是 NI 区的 1.8、1.7 倍, 而  $5 \leq D < 10$  mm、 $10 \leq D < 15$  mm 和  $D \geq 15$  mm 的根生物量分别与 NI 区相应径级的根生物量相近。

滴灌栽培极大地促进了杨树  $D < 1$  mm 和  $1 \leq D < 5$  mm 根的生长和发育, 从而增强了根系对水分和养分的吸收能力, 使林分的生长量得到显著提高。

表 3 不同灌溉方式下杨树林分单位面积不同根径的根总长与根生物量

项目	灌溉方式	根直径(D)/ mm					合计
		$D < 1$	$1 \leq D < 5$	$5 \leq D < 10$	$10 \leq D < 15$	$D \geq 15$	
根总长/(km · hm <sup>-2</sup> )	滴灌 (DI)	708.05	112.00	17.08	4.66	2.60	844.39
	常规灌溉 (NI)	334.46	68.46	16.49	3.36	3.19	425.96
根生物量/(kg · hm <sup>-2</sup> )	滴灌 (DI)	96.12	192.05	183.91	172.44	247.75	892.27
	常规灌溉 (NI)	54.32	113.43	186.59	173.72	279.05	807.11

3.2.2 根系的垂直分布 DI 区和 NI 区 0 ~ 20 cm 和 20 ~ 40 cm 土层内的各径级根总长见表 4。

从表 4 可以看出: DI 区和 NI 区杨树林分在 0 ~ 20 cm 土层内的根总长分别为 20 ~ 40 cm 土层的 4.1、2.1 倍, 说明 DI 区杨树林分约 4/5 的根系分布在 0 ~ 20 cm 的土层内, NI 区杨树林分约 2/3 的根

系分布在 0 ~ 20 cm 的土层内; DI 区和 NI 区杨树林分 0 ~ 20 cm 土层内吸收根 ( $D < 1$  mm) 根总长分别为 20 ~ 40 cm 土层的 4.3、2.1 倍, 说明两区杨树林分的吸收根也主要分布在 0 ~ 20 cm 的土层内。

与常规栽培相比, 滴灌栽培使更多的根系特别是吸收根分布在 0 ~ 20 cm 的土层内。

表 4 不同灌溉方式下杨树根总长垂直分布

km · hm<sup>-2</sup>

土层深度/cm	灌溉方式	根系直径(D)/ mm					合计
		$D < 1$	$1 \leq D < 5$	$5 \leq D < 10$	$10 \leq D < 15$	$D \geq 15$	
0 ~ 20	滴灌 (DI)	574.48	82.45	14.69	3.90	2.31	677.83
	常规灌溉 (NI)	224.88	46.69	9.80	2.96	2.69	287.01
20 ~ 40	滴灌 (DI)	133.58	29.55	2.39	0.76	0.29	166.56
	常规灌溉 (NI)	109.59	21.78	6.69	0.40	0.50	138.95

3.2.3 吸收根的水平分布 DI区和NI区杨树林分在株间、行间和斜对角方向分段挖掘和调查取得的吸收根( $D < 1\text{ mm}$ )总长见图2~5。

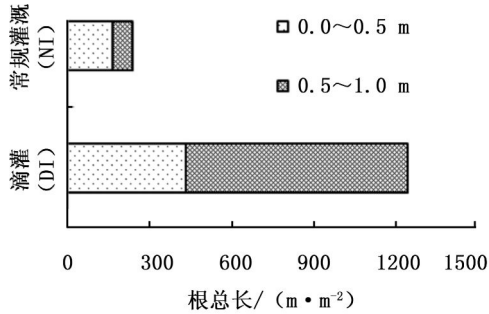


图2 不同灌溉方式下距杨树树干基部不同区段吸收根的株间分布

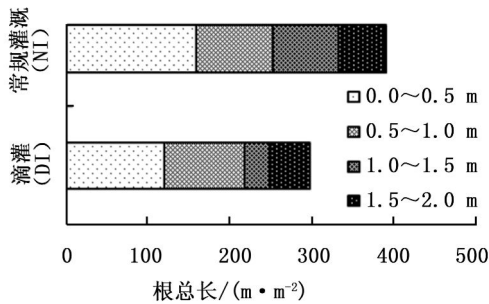


图3 不同灌溉方式下距杨树树干基部不同区段吸收根的行间分布

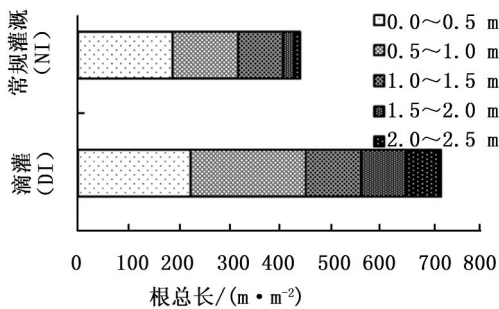


图4 不同灌溉方式下距杨树树干基部不同区段吸收根斜对角分布

3.2.3.1 株间分布 从图2可以看出:在距离树干基部0.0~1.0 m的区段内,DI区杨树的吸收根( $D < 1\text{ mm}$ )单位面积总长是NI区的5.3倍;DI区杨树在距离树干基部0.5~1.0 m区段内的吸收根( $D < 1\text{ mm}$ )单位面积总长是0.0~0.5 m区段内的1.9倍,表现出在距离树干基部0.0~1.0 m范围内,吸收根单位面积总长逐渐增加的趋势;NI区杨树在距离树干基部0.5~1.0 m的区段内的吸收根( $D < 1\text{ mm}$ )单位面积总长是0.0~0.5 m区段内的45%,

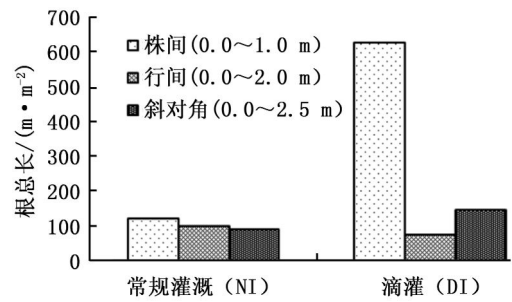


图5 不同灌溉方式下距杨树树干基部不同区段吸收根分布密度

表现出在距离树干基部0~1.0 m范围内,吸收根单位面积总长逐渐减少的趋势。

3.2.3.2 行间分布 从图3可以看出:在距离树干基部0.0~2.0 m的区段内,NI区杨树的吸收根( $D < 1\text{ mm}$ )单位面积总长是DI区的1.3倍;DI区杨树从距离树干基部0.0~0.5 m到0.5~1.0 m的区段内吸收根( $D < 1\text{ mm}$ )单位面积总长略有减少,而到距离树干基部1.0~1.5、1.5~2.0 m的区段内则显著减少,在距离树干基部0~1.0 m区段内,吸收根单位面积总长是1.0~2.0 m区段内的2.7倍,表明吸收根在行间主要分布在距离树干基部0~1.0 m区段内;NI区杨树从距离树干基部0.0~0.5 m到0.5~1.0 m的区段内吸收根( $D < 1\text{ mm}$ )单位面积总长显著减少,从距离树干基部0.5~1.0、1.0~1.5 m到1.5~2.0 m的区段内吸收根单位面积总长逐渐减少,在距离树干基部0.0~1.0 m区段内,吸收根单位面积总长是1.0~2.0 m区段内的1.8倍,表明吸收根在行间主要分布在距离树干基部0.0~1.0 m区段内。

3.2.3.3 斜对角分布 从图4可以看出:在距离树干基部0.0~2.5 m的区段内,DI区杨树的吸收根( $D < 1\text{ mm}$ )单位面积总长是NI区的1.6倍;DI区杨树从距离树干基部0.0~0.5 m到0.5~1.0 m的区段内吸收根( $D < 1\text{ mm}$ )单位面积总长略有增加,而到距离树干基部1.0~1.5、1.5~2.0、2.0~2.5 m的区段内则显著减少,在距离树干基部0.0~1.0 m区段内,吸收根单位面积总长是1.0~2.5 m区段内的1.7倍,表明吸收根在斜对角主要分布在距离树干基部0~1.0 m区段内;NI区杨树在距离树干基部0.0~0.5、0.5~1.0、1.0~1.5、1.5~2.0、2.0~2.5 m各区段内吸收根( $D < 1\text{ mm}$ )单位面积总长都呈减少趋势。在距离树干基部0.0~1.0 m区段内,吸收根单位面积总长是1.0~2.5 m

区段内的2.6倍,表明吸收根在斜对角主要分布在距离树干基部0.0~1.0 m区段内。

3.2.3.4 株间、行间和斜对角方向吸收根的分布密度 从图5可以看出:在DI区,杨树吸收根单位面积总长在株间、斜对角、和行间方向分布的比值为株间:斜对角:行间=8.3:1.9:1.0,说明吸收根在株间方向的分布密度远大于斜对角和行间方向;在NI区,杨树吸收根单位面积总长在株间、行间和斜对角方向分布的比值为株间:行间:斜对角=1.3:1.1:1.0,说明吸收根在株间、行间和斜对角方向的分布密度相近。

#### 4 结论与讨论

滴灌能够显著改变杨树的根系分布范围。在垂直分布上,滴灌栽培杨树的根系比常规栽培浅,滴灌栽培和常规栽培的杨树林分根系均主要分布在0~40 cm土层内,但滴灌栽培林分的根系特别是吸收根( $D < 1$  m)约4/5分布在0~20 cm浅土层内,而常规栽培林分的根系只有约2/3分布在这一土层内;另外,滴灌栽培杨树的主根分布深度也远小于常规栽培,主根长分别为1.3、4.5 m。这是由于滴灌的土壤湿润层较浅,灌溉频率高,表层土壤的适宜水分条件使根系在垂直分布上上移,而常规灌溉土壤湿润层相对较深,但因灌水频率低,表层土壤处于相对缺水状态,主根则向土壤含水量相对较高的深层土壤延伸。

在水平分布上,滴灌栽培杨树侧根分布范围远大于常规栽培,滴灌栽培和常规栽培杨树的侧根分布范围分别为9.4 m×8.2 m和7.8 m×4.6 m。滴灌能够显著改变杨树根系在水平方向上的分布密度,滴灌栽培和常规栽培杨树林分的吸收根( $D < 1$  mm)均主要分布在距离树干基部0.0~1.0 m的范围内。滴灌栽培杨树林分的吸收根主要分布在株间方向(滴灌带铺设方向),分布密度在株间、斜对角和行间方向的比值为株间:斜对角:行间=8.3:1.9:1.0;常规栽培杨树林分的吸收根则相对均匀分布在树体四周,其分布密度在株间、行间和斜对角方向的比值为株间:行间:斜对角=1.3:1.1:1.0。

滴灌栽培杨树的根系比常规栽培的显著发达,滴灌栽培对杨树的吸收根( $D < 1$  mm)有更加明显的促进作用。从数量上来看,滴灌栽培杨树的侧根总数为486条,约是常规栽培的2倍,其中,I级侧根数量与常规栽培相近,而II级和III级侧根分别是常

规栽培的2.0、2.1倍。从根总长和生物量来看,滴灌栽培杨树个体根系总长为244.2 m,生物量为1775.6 g,分别是常规栽培的1.8、1.2倍,其中,滴灌栽培杨树的主根和I级侧根的总长和生物量与常规栽培近乎相同,而II级和III级侧根的总长和生物量则远大于常规栽培,滴灌栽培杨树II级和III级侧根的总长分别为常规栽培的1.9、2.5倍,生物量为常规栽培的2.7、2.4倍;滴灌栽培杨树林分单位面积不同径级的根系总长为844.39 km·hm<sup>-2</sup>,生物量为892.27 kg·hm<sup>-2</sup>,分别是常规栽培的2.0、1.1倍,其中,滴灌栽培杨树林分根系径级在 $5 \leq D < 10$  mm、 $10 \leq D < 15$  mm和 $D \geq 15$  mm的根总长和生物量与常规栽培相近,而径级在 $D < 1$  mm和 $1 \leq D < 5$  mm的根总长和生物量远大于常规栽培;滴灌栽培杨树林分根系径级在 $D < 1$  mm和 $1 \leq D < 5$  mm的单位面积总长分别为常规栽培的2.1、1.6倍,生物量为常规栽培的1.8、1.7倍。

由于滴灌能够显著促进杨树细根特别是吸收根( $D < 1$  mm)的生长和发育,从而显著增强了根系吸收水分和养分的能力,使林分的生长量显著提高。在提高杨树人工林生产力的同时能取得显著优于常规灌溉的经济效益和生态效益,贾黎明等<sup>[21]</sup>对北京沿河沙地意大利杨人工林进行的滴灌试验表明,滴灌栽培的杨树人工林林地生产力比常规栽培高3.9~4.6倍,滴灌生产1 m<sup>3</sup>木材所消耗的水资源仅为常规灌溉的1/6。因此,建议在我国北方地区营造杨树人工林时结合当地经济条件推广滴灌技术,实现杨树人工林的高效栽培。

#### 参考文献:

- [1] 国家林业局. 全国森林资源统计—第七次全国森林资源清查[M]. 北京: 国家林业局森林资源管理司, 2010: 43, 221-234
- [2] Thind H S, Buttar G S, Aujla M S, et al. Yield and water use efficiency of hybrid Bt cotton as affected by methods of sowing and rates of nitrogen under surface drip irrigation[J]. Archives of Agronomy and Soil Science, 2012, 58(2): 199-211
- [3] Ramazan T, Sinan S, Bilal A. Effect of different drip irrigation regimes on sugar beet (*Beta vulgaris* L.) yield, quality and water use efficiency in Middle Anatolian, Turkey [J]. Irrig Sci, 2011, 29: 79-89
- [4] Rui M A, Maria R, Oliveira G, et al. Tomato root distribution, yield and fruit quality under subsurface drip irrigation[J]. Plant and Soil, 2003, 255: 333-341
- [5] Ajai R. Economical feasibility of growing capsicum crop under drip irrigation in west Bengal, India[J]. Irrig Drainage Syst, 2008, 22: 179-188

- [6] 孙丹丹,张忠学. 滴灌大豆不同灌水量的产量与水分效应分析 [J]. 东北农业大学学报,2012,43(5):100-104
- [7] Mir A, Rao W K, Naik S A, *et al.* Drip irrigation: effect on Caribacavar. Cauvery (Catimor). *Indian - Coffee*, 1994, 58: 3-8
- [8] Pascual R, Pablo B, Francisco G. Effects of regulated deficit irrigation under subsurface drip irrigation conditions on vegetative development and yield of mature almond trees [J]. *Plant and Soil*, 2004, 260: 169-181
- [9] Srinivas K. Plant water relations, yield, and water use of pa-paya (*Carica papaya* L.) at different evaporation replenishment rates under drip irrigation[J]. *Tropical Agriculture*, 1996, 73: 264-269
- [10] Arnold R J, Bacca M J, Clark N. Commercial irrigated E. *Camaldulensis* Plantations-a Californian experience and its applicability in Australia [J]. *Australian Forestry*, 1999, 62(2): 154-159
- [11] Shrive S C, McB ride R A, Gordon A M. Photosynthetic and growth responses of two broad-leaf tree species to irrigation with municipal land fill leachate [J]. *Environ. Qual* 1994, 23(3): 534-542
- [12] Susy D, Lluís C. Nitrogen forms affect root structure and water uptake in the hybrid poplar [J]. *New Forests*, 2011, 42: 347-362
- [13] Grant B, Douglas, Ian R M, *et al.* Root distribution of poplar at varying densities on pastoral hill country [J]. *Plant Soil*, 2010, 333: 147-161
- [14] Preston G M, McBride R A, Bryan J, *et al.* Estimating root mass in young hybrid poplar trees using the electrical capacitance method [J]. *Agroforestry Systems*, 2004, 60: 305-309
- [15] Judith F, Annegret K, Emmanuelle M, *et al.* The Ectomycorrhizal Fungus *Laccaria bicolor* Stimulates Lateral Root Formation in Poplar and *Arabidopsis* through Auxin Transport and Signaling [J]. *Plant Physiology*, 2009, 151: 1991-2005
- [16] 燕 辉, 苏印泉, 朱昱燕, 等. 秦岭北坡杨树人工林细根分布与土壤特性的关系 [J]. *南京林业大学学报:自然科学版*, 2007, 29(2):34-40
- [17] 韦艳葵, 贾黎明, 王 玲, 等. 地下滴灌条件下杨树速生丰产林林木根系生长特性 [J]. *北京林业大学学报*, 2009, 33(2):85-89
- [18] M 达拉诺夫斯卡娅. 根系研究方法 [M]. 李继云译. 北京: 科学出版社, 1962
- [19] W 伯姆. 根系研究法 [M]. 薛德容, 等译. 北京: 科学出版社, 1985
- [20] 张 鹏, 兰再平, 马 可. 窄冠刺槐根系的研究 [J]. *林业科学研究*, 2008, 21(4):516-522
- [21] 贾黎明, 邢长山, 李景锐, 等. 地下滴灌条件下杨树速生丰产林生产力及效益分析 [J]. *北京林业大学学报*, 2005, 27(6):43-49