

文章编号: 1000-5692(2007)02-0186-06

小美旱杨防护林对林带下土壤盐分均衡的影响

刘 静¹, 贾忠权², 董凤香³

(1. 内蒙古农业大学 生态环境学院 内蒙古 呼和浩特 010019; 2. 内蒙古自治区巴彦淖尔市林工站
内蒙古 巴彦淖尔 015000; 3. 内蒙古自治区巴彦淖尔市林业局 内蒙古 巴彦淖尔 015000)

摘要: 通过测定小美旱杨 *Populus simonii* × (*Populus pyramidalis* + *Salix matsudana*) ‘Poparis’ 标准木耗水量、树体不同部位储盐质量浓度和标准木生物量, 推算 12 年生小美旱杨全生长期耗水量中总盐分质量浓度以及小美旱杨采伐时可带离的盐分, 分析小美旱杨水分代谢过程对林下土壤-潜水系统盐分均衡的影响。结果表明, 小美旱杨耗水中所含盐分离子的 92% 左右进入林下土壤-潜水系统中, 其余随采伐被带离, 但小美旱杨农田防护林带蒸腾造成的林下积盐在灌区积盐中仅占很小的比例。小美旱杨对营养元素的选择性吸收和对有害离子的拒吸作用, 对林下土壤的可溶盐离子组分比例有一定的影响, 主要表现是使进入土壤-潜水系统的 Ca^{2+} 组分比例减小。表 9 参 15

关键词: 土壤学; 小美旱杨; 农田防护林; 土壤-潜水系统; 盐分均衡

中图分类号: S714 **文献标志码:** A

拒盐植物在水分代谢过程中几乎不吸收根际环境中的盐分, 将它们积存在土壤中; 积盐植物在吸收水分的同时也吸收盐分, 植物死亡时, 整株植物体积存的盐分回到土壤中, 促进土壤盐渍化^[1]; 若植物的部分生物量被收割, 其盐分也随之带离。因此, 在植物-土壤系统中, 水溶性盐类物质的迁移对土壤的盐分均衡有一定影响。对于灌区, 特别是渠道两侧, 土壤是开放系统, 土壤-潜水中的水盐频频交换, 成为整体。沿渠布设的农田防护林树高根茂, 其水分代谢过程中盐分的迁移必然影响林下土壤-潜水系统。无疑, 农田防护林的生物排水作用能够降低林下地下水位, 阻止或延缓潜水毛管作用造成的盐分在土壤表层积累, 防止林下土壤次生盐渍化。然而, 上述作用的实质是改变盐分在土壤垂直剖面的分布状况。对于我国干旱半干旱地区, 林带所消耗的灌溉水和潜水中往往含有一定量的可溶盐离子, 如果林木能够将它们全部吸收并储存于体内, 并不影响林下土壤-潜水系统的盐分均衡, 即土壤-潜水系统的盐离子质量浓度和组分比例不变, 灌区土壤-潜水的总盐量不变。然而, 现有研究表明, 许多树木通过吸收选择性排斥过多的有害盐分进入根系, 以此作为避免盐害的对策之一^[2-6]。树木的吸收选择性是否影响林下土壤-潜水系统的盐分均衡, 对此未见研究报告。作者研究内蒙古河套灌区的小美旱杨 *Populus simonii* × (*Populus pyramidalis* + *Salix matsudana*) ‘Poparis’ 农田防护林对林下土壤-潜水系统盐分均衡的影响, 并从灌区宏观的尺度上探讨它们对灌区盐分均衡的影响程度, 为科学培养小美旱杨提供技术支持。

收稿日期: 2006-06-25; 修回日期: 2006-11-01

基金项目: “十五” 内蒙古自治区科学技术攻关项目(20020705)

作者简介: 刘静, 教授, 博士, 从事生态需水及水盐平衡研究。E-mail: ljing58@126.com
?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

1 研究地区自然条件与研究方法

1.1 研究地区自然条件

研究在内蒙古河套灌区中部的临河市八一乡进行, 位于 $40^{\circ}40'N$, $107^{\circ}26'E$, 黄河北岸的冲积平原上, 海拔为1 037 m, 地形平坦, 地面坡降 $1/4\sim1/5$, 属于中温带半干旱大陆性气候, 平均年降水量为138.8 mm, 蒸发量2 236.7 mm。试验区地处黄河故道, 地层以河相沉积过渡到河湖交错沉积, 地下水的主要来源是灌溉水下渗, 地下水水平排泄条件较差, 属于灌溉入渗蒸发型。地下水矿化度随季节变化, 试验点潜水盐离子质量浓度见表1, 灌溉水盐离子质量浓度见表2。该灌区农田防护林以杨树 *Populus* spp. 为主, 小美旱杨居多数, 主要位于斗渠、农渠和毛渠两侧。试验区土壤为淤灌土和盐土, 研究林带林下0~80 cm土壤属轻度盐渍化土壤^[7]。

表1 小美旱杨试验点潜水平均盐离子质量浓度

Table 1 Average salt ion content of groundwater in last 3 years in *Populus simonii* × (*Populus pyramidalis* + *Salix matsudana*) 'Poparis' plantation

年份	盐离子质量浓度/(mg·L ⁻¹)					
	K ⁺ + Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻
1999	627.6	100.8	142.5	473.6	407.2	1 216.4
2000	1 653.7	138.4	275.3	913.2	355.6	1 587.8
2001	206.7	160.2	159.9	302.2	394.0	818.4
平均	829.3	133.1	192.3	563.0	385.6	1 207.5

说明: 表中数据指生长季内各月实测值的平均值 由巴彦淖尔市水文局提供。

表2 2001年灌溉水盐离子质量浓度

Table 2 Salt ion content in irrigative water in 2001

日期/ (月-日)	pH	盐离子质量浓度/(mg·L ⁻¹)						矿化度	
		Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺ + Na ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	CO ₃ ²⁻		
05-10	8.3	70.1	21.3	96.4	79.8	132	0	224	580.0
07-24	8.2	90.2	30.4	214.0	88.6	324	0	170	881.0
09-09	8.0	80.2	27.3	167.0	97.5	252	0	173	805.0
10-19	8.2	50.1	30.4	18.7	26.6	132	0	181	500.0
平均	8.2	72.7	27.4	124.0	73.1	210	0	187	691.5

说明: 表中数据由巴彦淖尔市水文局提供。

1.2 研究方法与实验材料

研究在2001—2005年进行。研究土壤-潜水系统盐离子质量浓度的变化, 准确的方法是针对土壤和潜水进行定时定位的测定但灌区的土壤是开放系统, 在降水、蒸发和灌溉特别是排水导致的地下径流的影响下, 林下的水盐与大范围潜水系统中频频交换, 而参与交换的水量和盐量很难分割, 在林下土壤-潜水系统盐分质量浓度发生变化时, 无法区分哪些由防护林影响所致, 哪些是其他因素造成。因此, 本研究以防护林标准木为研究对象, 研究其耗水量、耗水量中的盐离子质量浓度以及树木储盐量, 分析防护林带蒸腾耗水过程对林下土壤-潜水系统盐分均衡的可能影响。

1.2.1 试验材料 选择树木生长正常的完整的小美旱杨主林带为研究林带。因每条渠道上的树木同年造林, 立地条件相同, 树木个体间生长状况差异小, 因此, 对该林带按抽样方法选定30株树, 量算平均胸径和树高, 作为标准木的选择依据。树木储盐量研究选12年生的3株标准木, 生物量研究选12年生的2株标准木。耗水量研究分3个林龄组, 每组选2株标准木(表3)。

1.2.2 标准木生物量测定 生物量测定在2001年9月末进行, 将标准木从根部伐倒, 按照分层割取法^[8]从标准木的基部开始每隔1 m截断。从每段下部取5 cm厚的解析盘, 将其研究面刨平后抛光,

用扫描仪将每个解析盘的研究面输入计算机，采用Mapgis软件量算其心材和边材面积，计算心材材积和边材材积。从标准木上取部分心材和边材，分别用木工车床精加工成边长为3 cm的9个立方体，用游标卡尺精确测量每个立方体的鲜体积，在105 °C烘至恒量，用电子天平(1/100)称干质量，求算单位鲜体积心材、边材所具有的干质量，推求心材平均生物量和边材平均生物量。

1.2.3 树木各部位储盐量测定 标准木采伐时取枝、心材、边材、根， K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 储盐量待测液分组、分部位采用直接灰化法^[9, 10]制备； HCO_3^- 、 CO_3^{2-} 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 待测液用水提法制备^[11]。树木各部位样品处理和各个盐离子质量浓度的测定方法见参考文献[12]。

1.2.4 耗水量测定方法 耗水量测定采用热脉冲茎流计法，对7、10和13年生的小美旱杨标准木，从4月初至10月底每隔2~3周对标准木测定3 d，每株树采用4组热敏探头，安装在距地面1.5 m高度的树干上，分别位于东南、西南、西北和东北4个方位，4组探头进入木质部的深度分别为5、10、20和30 mm。

2 结果与分析

2.1 标准木总耗水量中含盐质量浓度

3种林龄小美旱杨各月耗水量见表3。对它们积分得，12年生小美旱杨生长期总耗水量为21 229 L·株⁻¹。沿渠布设的林带在渠道输水时消耗灌溉水，其余时段消耗潜水和少量降水。1株小美旱杨所得到的降水量为它占地面积2.5 m×3.0 m上的全部水量，其中少量被林冠截留，大部分下渗。林冠截留降水的过程极其复杂，受降水量、降水强度和林冠特征等诸多因素的影响。根据杨树树冠特征及树冠截留的相关研究^[13, 14]，参考当地科研人员的实践经验，该地区月降水量<10 mm时，降水主要消耗于树木枝、叶截留和表土蒸发；随着降水量的增大，下渗水量加大，被树木吸收的降水量亦增大。该地区渠道输水时间为5月中旬和下旬，6月上旬和下旬，7月中旬和下旬，8月中旬，每次输水3 d，输水后空渠水下渗2 d。按照渠道输水时间和各月降水量，推求小美旱杨各时段耗水量组成(表4)。忽略降水中盐分含量，小美旱杨各段耗水量中盐离子质量见表5。

表3 2001年不同林龄小美旱杨单株耗水量

Table 3 Water use of *Populus simonii* × (*Populus pyramidalis* + *Salix matsudana*) 'Poparis' of different ages in 2001

林龄/a	耗水量/(L·株 ⁻¹)							
	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	全年
7	23	410	382	601	689	337	30	2 472
10	58	551	574	699	893	482	51	3 308
13	115	1 011	837	924	1 085	708	127	4 807

表4 2001年小美旱杨标准木各时段耗水量组成

Table 4 Composition of water use in different periods of *Populus simonii* × (*Populus pyramidalis* + *Salix matsudana*) 'Poparis' in 2001

时间	耗水量/ (L·株 ⁻¹)	耗水量分量			时间	耗水量/ (L·株 ⁻¹)	耗水量分量		
		降水 量/mm	灌溉水/ (L·株 ⁻¹)	潜水/ (L·株 ⁻¹)			降水 量/mm	灌溉水/ (L·株 ⁻¹)	潜水/ (L·株 ⁻¹)
4月20~30日	103	7.9	0	103	9月	610	15.5	0	565.0
5月	800	8.7	267	533	11月1~15日	113	9.0	23.0	90.0
6~7月	1 666	47.2	519	929	耗水比率/%	100	12.6	22.0	65.4
8月	1 015	44.5	137	609					

2.2 标准木采伐时可带离的盐量

标准木采伐时各部位生物量见表6，各部位储盐量及采伐时可带离的盐分见表7。
?1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All Rights Reserved. http://www.cnki.net

2.3 小美旱杨防护林对林下土壤盐分均衡的影响

2.3.1 小美旱杨标准木对林下土壤盐分均衡的影响 在树木-潜水-土壤系统中盐分随水分的转化而迁移，树木耗水中所含有的可溶盐离子部分进入树木各个部位，部分进入土壤-潜水系统；叶中的可溶盐离子随落叶返回土壤，少量营养根中的可溶盐离子随营养根的死亡和枯落物同样返回土壤。可溶盐离子在各个子系统中的迁移采用相对通量分析，通过林带耗水进入该系统的每个盐分离子的质量浓度作为 100%，每个盐分离子在各个子系统中累积量占进入系统中该离子总量的百分率为盐离子迁移量

表 5 12 年生小美旱杨标准木生长期总耗水量中盐离子质量

Table 5 Salt ions content of total water use of *Populus simonii* × (*Populus pyramidalis* + *Salix matsudana*) 'Popari' of 12 years old

耗水类型	耗水量/L	耗水量中的盐离子质量/(kg·株 ⁻¹)					
		K ⁺ +Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻
灌溉水	4 670	0.58	0.34	0.13	0.34	0.98	0.87
潜水	13 883	11.52	1.81	2.66	7.82	5.41	16.75
合计		12.10	2.15	2.79	8.16	6.39	17.62

表 6 12 年生小美旱杨标准木枝、叶和根生物量

Table 6 Biomass of *Populus simonii* × (*Populus pyramidalis* + *Salix matsudana*) 'Poparis' of 12 years old

标准木	材积/ cm ³		枝/(kg°株 ⁻¹)		根/(kg°株 ⁻¹)		平均生物量/(kg°株 ⁻¹)			
	心材	边材	鲜质量	含水量	鲜质量	含水量	心材	边材	枝	根
A	36 588	162 429	38	52.35±0.54	69	52.22±1.47	14.72	62.56	18.80	36.08
B	37 036	175 891	42		77					

表7 12年生小美旱杨标准木采伐时可带离土壤的盐分

Table 7 Salt ions content during fell of *Populus simonii* × (*Populus pyramidalis* + *Salix matsudana*) 'Popari's' of 12 years old.

盐离子	枝		边材		心材		根		储盐量 合计/ (g·株 ⁻¹)
	质量分数/ (g·kg ⁻¹)	储盐量/ (g·株 ⁻¹)							
K ⁺	2.57	48.31	3.87	242.22	3.26	48.00	3.14	113.24	451.77
Na ⁺	0.67	14.29	0.92	57.58	0.65	9.57	0.78	28.13	109.57
Ca ²⁺	6.79	127.64	5.15	322.33	3.18	56.10	6.70	241.62	747.69
Mg ²⁺	1.63	30.64	2.47	154.60	1.77	26.06	2.09	75.73	286.67
Cl ⁻	5.37	100.90	4.59	287.28	5.06	74.51	5.95	214.57	676.55
SO ₄ ²⁻	7.59	142.68	6.61	413.72	9.00	132.50	12.83	463.04	1151.95
HCO ₃ ⁻	4.27	80.28	4.04	252.86	5.07	74.66	6.85	247.04	654.81

特征值。12 年生小美旱杨标准木可溶盐离子的迁移量、相对通量及各个子系统中盐分离子的组分比率见表 8。

表8表明，小美旱杨耗水中的盐分离子，92%进入林下土壤-潜水系统，少量随树木采伐被带离。杨树耗水中带有的盐分离子，部分是树木生长所需要的营养元素，部分是树木不需要或对其有毒害作用的离子。由于耗水中各个离子的组分比例与树木的需求不一致，使林下积盐的组分比例与耗水中不同，即小美旱杨对林下土壤-潜水系统的盐离子组分比例有一定影响。树木子系统中 Ca^{2+} 的相对迁移通量最大，这是由于 Ca^{2+} 是树木维持正常生理代谢和生长的主要元素，耗水中所含 Ca^{2+} 的35%被树木吸收，使 Ca^{2+} 的组分比例由耗水中的4.37%降至土壤中的3.10%，从而使进入林下土壤-潜水子系统 Ca^{2+} 的组分比例减小，这有利于潜水总硬度的降低。小美旱杨耗水-土壤系统中可溶盐离子的上述迁移特性和新疆杨 *Populus bolleana* 非常相似^[15]。硫素是树木生长所需的中量元素，通过小美旱杨子

系统的吸收和运输，使进入土壤中的 SO_4^{2-} 的组分比例有减小趋势。

2.3.2 小美旱杨防护林下积盐对灌区盐分均衡的影响 以试验点所属的永济灌域为例，分析小

表8 12年生小美旱杨-耗水量-土壤(潜水)系统可溶盐离子迁移量及相对通量

Table 8 Soluble salt ions transport ratio in the system of *Populus simonii* × (*Populus pyramidalis* + *Salix matsudana*) 'Poparis' of 12 years old-water use-soil (groundwater)

盐离子	耗水量中盐离子			林木可带离的盐离子			土壤-潜水中积盐量		
	单株质量/ kg	相对通 量/%	组分比 率/%	单株质量/ kg	相对通 量/%	组分比 率/%	积盐/ (kg·株 ⁻¹)	相对通 量/%	组分比 率/%
K ⁺ +Na ⁺	12.10	100	24.59	0.56	4.63	13.73	11.54	95.37	25.57
Ca ²⁺	2.15	100	4.37	0.75	34.88	18.38	1.40	65.12	3.10
Mg ²⁺	2.79	100	5.67	0.29	10.40	7.11	2.50	89.60	5.54
Cl ⁻	8.16	100	16.58	0.68	8.33	16.67	7.48	91.67	16.57
SO ₄ ²⁻	6.40	100	13.00	1.15	18.25	28.19	5.25	82.03	11.63
HCO ₃ ⁻	17.62	100	35.81	0.65	3.69	15.93	16.97	96.31	37.59
合计	49.21	100	100	4.08	8.29	100	45.13	91.71	100

美旱杨防护林林下积盐对灌区的影响。永济灌域灌溉面积为11.6万hm²，占河套灌区灌溉面积的19.89%。该灌域引黄河水量6.62亿m³·a⁻¹，引黄带入盐量为33.1万t·a⁻¹（按黄河水矿化度0.5g·L⁻¹计，引自《内蒙古黄河河套灌区节水改造工程规划》）；年排水量0.20亿m³·a⁻¹，排出盐量为9.0万t·a⁻¹（按排水矿化度4.5g·L⁻¹），该灌域灌溉积盐量为24.10万t·a⁻¹，相当于2.1t·hm⁻²·a⁻¹，假设永济灌域的农田防护林全部为12年生的小美旱杨，其林下积盐对永济灌域的影响见表9。

表9 小美旱杨防护林林下积盐对永济灌域的影响

Table 9 Salt accumulation of soils under *Populus simonii* × (*Populus pyramidalis* + *Salix matsudana*) 'Poparis' shelterbelts to Yongji district

12年生总耗水 积盐量/万t	平均积盐量/ (万t·a ⁻¹)	防护林积盐量占引黄带入 盐量比例/%	防护林积盐量占灌溉积 盐量比例/%
39.17	4.35	13.15	18.05

说明：按防护林保存率85%计算。

表9表明，如果不考虑农田防护林防护作用对田间表层土壤的减盐作用，只分析林下积盐对灌区的影响，小美旱杨防护林林下年均积盐量是年引黄带入盐量的13.2%；相当于全灌域灌溉积盐量的18.1%，农田防护林蒸腾造成的林下积盐在灌区积盐中仅占很小的比例。

3 小结

位于轻度盐渍化土壤上的小美旱杨，耗水中所含盐分离子的92%左右进入林下土壤-潜水系统中，耗水中所含盐分离子的8%左右随采伐被带离；在荒地或退耕地上大面积营造小美旱杨，有可能使局部区域土壤的盐分质量浓度趋于增大，在区域盐分均衡中应予以重视；小美旱杨对营养元素的选择性吸收和对有害离子的拒吸作用，对林下土壤的可溶盐离子组分比例有一定影响，有造成林下Ca²⁺在原来组分比例基础上质量浓度减小的趋势。

参考文献：

- [1] 王遵亲. 中国盐渍土[M]. 北京: 科学出版社, 1993: 32—60.
- [2] 马焕成, 王沙生. 盐胁迫下胡杨的离子响应[J]. 西南林学院学报, 1998, 18(1): 42—47.
- [3] 田野, 张焕朝, 方升佐. 盐胁迫下土壤-杨树系统中离子运移与分布特征[J]. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2003, 27(4): 5—9.
- [4] 冯衍枝, 马焕成, 王沙生. 盐分处理对3种杨树离子吸收规律的影响[J]. 西南林学院学报, 1998, 18(1): 48—

51.

- [5] KHATUN S, FLOWER T J. Effect of salinity on seed set in rice [J]. *Plant Cell Environ.*, 1995, **18**: 61—87.
- [6] YAN X F, SUN G R. Changes of several as matic in *Pucinellia tenuiflora* seedling under alkali salt stress [J]. *Bull Bot Res*, 1999, **19** (3): 374—355.
- [7] 张芳, 刘静, 闫琳. 小美旱杨防护林采伐对灌区减盐作用的影响 [J]. 内蒙古农业大学学报: 自然科学版, 2005 (4): 26—29.
- [8] 孟宪宇. 测树学 [M]. 北京: 中国林业出版社, 1984: 15—25.
- [9] 马茂华, 孔令韶. 新疆呼图壁缘洲外缘的琵琶柴生物生态学特性研究 [J]. 植物生态学报, 1998, **22** (3): 237—244.
- [10] 鲍士旦. 土壤农化分析 [M]. 北京: 中国农业出版社, 1981: 57—258.
- [11] 田桂萍, 康双阳. 盐碱土壤小麦体内盐分含量动态变化规律 [J]. 灌溉排水, 1997, **16** (4): 28—31.
- [12] 刘静, 王林和, 王兴. 土壤及地下水含盐量对小美旱杨可溶盐离子质量分数的影响 [J]. 浙江林学院学报, 2005, **22** (1): 33—39.
- [13] 孙立达, 朱金兆. 水土保持林体系综合效益研究与评价 [M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1995: 262—275.
- [14] 王礼先, 解明曙. 山地防护林水土保持水文生态效益及其信息系统 [M]. 北京: 中国林业出版社, 1997: 76—85.
- [15] 刘静. 2种杨树防护林对河套灌区盐分均衡影响的研究 [D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2005: 97—99.

Salt balance with a *Populus simonii* × (*Populus pyramidalis* + *Salix matsudana*) ‘Poplaris’ shelterbelt

LIU Jing¹, JIA Zhong-quan², DONG Feng-xiang³

(1. College of Ecology and Environmental Science, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010019, Inner Mongolia, China; 2. Bayannaoer Forestry Research Institute, Bayannaoer 015000, Inner Mongolia, China; 3. Forest Enterprise of Bayannaoer City, Bayannaoer 015000, Inner Mongolia, China)

Abstract: To calculate a) the total salt in water consumed during the entire growth period of 12-year-old *Populus simonii* × (*Populus pyramidalis* + *Salix matsudana*) ‘Poplaris’ and b) the total extractable salt when harvested and to analyze this cultivar’s water metabolism influence on salt balance in the soil-groundwater system under the tree, water consumption and the salt ion concentration in different plant parts as well as biomass of sample tree were measured. Results indicated that of the salt in the water that ‘Poplaris’ absorbed about 92% had entered in the soil-groundwater system under the tree; the rest of the salt remained in the tree when harvested. Also, the composition ratio of Ca^{2+} to soluble salts in the soil-ground water system decreased. However, salt accumulation in soils under ‘Poplaris’ shelterbelts was only a small proportion of salt accumulated in irrigated areas. Thus, selective absorption of nutrients with *P. simonii* × (*P. pyramidalis* + *S. matsudana*) ‘Poplaris’ and its resistance to harmful ions influenced the soluble salt ion component in the soil-groundwater system under this shelterbelt. [Ch, 9 tab. 15 ref.]

Key words: pedology; *Populus simonii* × (*Populus pyramidalis* + *Salix matsudana*) ‘Poplaris’; agricultural shelterbelt; soil-groundwater system; salt balance