

化学抗旱剂在农作物上应用试验研究

吕宁江, 李龙昌, 王 昕
(山东省水利科学研究院, 济南 250013)

摘 要: 植物化学抗旱剂是一种多功能植物抗旱生长营养剂, 在我省不同类型地区对粮食、蔬菜、果树等作物进行化学抗旱剂应用试验, 通过对作物生理、生态和产量方面的观测分析, 提出不同作物化学抗旱剂的应用技术和效果, 以正确指导化学抗旱剂在农业抗旱、节水中的大面积推广应用, 促进我省农业经济的可持续发展。
关键词: 化学抗旱剂; 农作物; 抗旱; 增产; 机理分析
中图分类号: S152 7 文献标识码: A 文章编号: 1005-3409 (2004) 01-0132-05

Experimental Study on Application of Phytochemistry Aqua in Crops

LU Ning-jiang, LI Long-chang, WANG Xin
(Shandong Provincial Institute of Water Resources, Jinan 250013, China)

Abstract: Through the measuring and analysis on crop physiology, ecology and yield, the different results and applied techniques were put forward after the experimental study on application of phytochemistry aqua for crops, vegetables fruit trees in various types areas of Shandong Province in order to instruct the application of phytochemistry aqua in large scale area against drought and water saving and promote the sustainable development in agriculture economy.
Key words: phytochemistry aqua for drought resistance; crops; drought resistance; increasing production; mechanism analysis

植物化学抗旱剂——旱地龙是以天然低分子量黄腐植酸为主要成份且含有植物所需的多种营养元素和氨基酸及生理活性强的多种生物活性基团的化学抗旱剂, 能有效地降低植物叶片气孔的开张度, 减少植物的水分蒸腾, 保持植物体内水分; 提高植株体内多种酶的活性, 促进根系发育; 增加植物叶片叶绿素的含量, 增强光合作用, 调节作物的生长发育。
针对我省“十年九旱”的实际情况和地区间缺水情况的差异, 分别在我省的机井灌区、城市近郊、旱作农业区对作物进行化学抗旱剂应用试验研究。

1 植物化学抗旱剂对作物生理、生态影响

1.1 对作物生态影响

1.1.1 无灌溉条件下应用抗旱剂对作物生态影响
1998~1999 年在莒南县涝坡镇唐涝坡村对施用旱地龙的小麦整个生育期进行了试验观测。该村土壤为棕壤土, 容重 1.46 g/cm³, 田间持水量 23.2% (重量比), 无灌溉条件, 播种小麦品种为鲁麦 23 号, 每 1 hm² 施土杂肥 15 000 kg, 氮肥 750 kg, 种子用量 165 kg, 使用方法为小麦旱地龙拌种加叶面喷施。旱地龙每 1 hm² 施用量: 拌种 900 g, 扬花后叶面喷施一次 (旱地龙 1 500 g, 兑水 750 kg)。试验观测记录如表 1。

表 1 莒南县涝坡镇唐涝坡村小麦施用旱地龙试验观测表 (莒南)

处 理	生育期/d	生态观测					考种测产					备 注
		基本苗/ (万株·hm ⁻²)	有效分蘖数 (/万株·hm ⁻²)	有效分蘖 率/%	株高 /cm	累计干物重 /(kg·hm ⁻²)	叶面积系 数/%	穗长 /cm	穗粒数 /粒	千粒重 /g	产量/ (kg·hm ⁻²)	
施用旱地龙	239	259.5	648	44.6	87	10185	3.48	5.35	28.3	35.6	5730	旱地龙拌种 喷施各 1 次
对照	245	184.5	550.5	42.9	83	8820	3.25	4.69	24.1	33.2	4380	

试验结果表明, 小麦施用旱地龙后生育期缩短 6 d, 促使作物早熟; 基本苗增加 75 万株/hm², 增加 40%; 小麦有效分蘖率增加 1.7%; 株高比对照高 4 cm; 干物质累积量增 15.5%; 叶面积系数提高 0.23%; 小麦的穗长、每穗粒数、千粒重均有增加, 单产比对照区增加 30.8%。可见在无灌溉条件下施用旱地龙对冬小麦整个生育期的生态影响很大, 产量

明显提高。

1.1.2 冬小麦施用化学抗旱剂拌(浸)种对作物生态影响

1998~ 1999 年在桓台县对冬小麦进行了旱地龙拌种试验, 试验结果见表 2、表 3。

表 2 小麦旱地龙拌种不同处理出苗率和根长比较表(桓台)

处 理	出苗日期 (年 月 日)	6 d 后 出苗率	7 d 后 出苗率	24 d 后株 生根平均长	24 d 后次 生根平均长
旱地龙 900 g /hm ² 拌种	1998-10-12	43.5%	53.2%	3.06 cm	16.72 cm
旱地龙 600 g /hm ² 拌种	1998-10-12	43.3%	51.8%	2.4 cm	16.58 cm
旱地龙 300 g /hm ² 拌种	1998-10-12	38.0%	47.1%	2.14 cm	14.92 cm
清水拌种 (对照)	1998-10-13	30.3%	45.4%	1.93 cm	14.2 cm

表 3 任庄 1998- 1999 年度冬小麦旱地龙拌种效果对比(桓台)

处 理	3 月 3 日测 根长/cm	3 月 3 日测总 根数/(根·株 ⁻¹)	有效穗数 /(万穗·hm ⁻²)	株高/cm	叶面积系数	穗长/cm	产量/(kg·hm ⁻²)	增产/%
用旱地龙拌种	17.53	21.22	356.84	96.3	4.96	9.3	6 810	10.23
不用旱地龙拌种(对照)	15.52	16.22	332.84	90.1	3.96	9.0	6 585	

以上试验结果分析可见, 适宜用量的旱地龙拌种能促进作物种籽内各种酶的生理活性, 加强种子的呼吸强度, 提高种子发芽率和出苗率, 促进根系发育, 提高根系活力, 根系发达, 有利于吸收更多的养分和更深层的水分, 使作物生长旺盛, 对作物生长发育和产量形成影响显著。

表 4 小麦叶面喷施旱地龙与灌水次数的试验组合(济南)

项目	处理	地 块	处 理 方 案	备 注
试验区	处理(3- 2)	区 35- 8 畦	灌 3 次水, 加喷施旱地龙	喷施旱地龙在孕穗、灌浆期; 灌三次水: 在返青、孕穗、灌浆期; 灌二次水: 在返青、灌浆期; 灌一次水: 在孕穗期。
	处理(3- 3)	区 39- 12 畦	灌 2 次水, 加喷施旱地龙	
	处理(3- 4)	区 313- 16 畦	灌 1 次水, 加喷施旱地龙	
对照区	处理(4- 1)	区 41- 4 畦	灌 3 次水	
	处理(4- 2)	区 45- 8 畦	灌 2 次水	
	处理(4- 3)	区 49- 12 畦	灌 1 次水	

对作物的气孔导度、光合速率等指标进行了测试, 结果如下:

1.2.1 对作物蒸腾的影响

气孔导度是衡量气体通过气孔进出细胞间隙阻力的一个重要指标。气孔导度大, 意味着气体进出细胞间隙的阻力

注: 拌种时气温 20℃, 时间为 1998-10 月。

由上表可知: 小麦采用旱地龙拌种比不拌种提前一天出苗。出苗率也明显高于对照。随着旱地龙用量的增多, 出苗率、株生根长、次生根长都随着增加, 明显促进根系的发育。但不是用量越多越好, 旱地龙拌种用量超过 750 g/hm² 后, 再增加用量其效果并不明显, 反而由于旱地龙显较强的酸性会影响出苗率。因而小麦采用旱地龙拌种其经济用量可控制在每 1 hm² 750 g 为宜。

由表 3 试验对比数据可知: 用旱地龙拌种对作物的根系、株高、叶面积系数及产量的影响效果都很显著, 旱地龙拌种小麦明显比对照根系发达, 提高干物质积累, 增加小麦有效穗数、株高和叶面积系数, 冬小麦平均增产 10% 左右。

1.2 对作物生理影响

济南市高新农业开发区进行了小麦在不同灌水次数情况下的叶面喷施旱地龙试验(小麦的孕穗期、灌浆期各喷施一次旱地龙), 试验组合见表 4。

小, 蒸腾增大。反之阻力大, 蒸腾减小。因而气孔导度是衡量作物蒸腾的一个重要指标。

表 5 是冬小麦喷施旱地龙不同处理的主要生育时段内的气孔导度测试值。

表 5 冬小麦不同处理的气孔导度 GS 测试结果(济南)

处 理	3 月 14 日	3 月 27 日	4 月 4 日	4 月 15 日	4 月 28 日	5 月 6 日	5 月 13 日	5 月 16 日	5 月 21 日
区 3 试验	处理(3- 2)	0.415	0.43	0.56	0.62	0.46	0.64	0.55	0.90
	处理(3- 3)	0.415	0.46	0.54	0.60	0.47	0.62	0.73	0.92
	处理(3- 4)	0.415	0.40	0.27	0.56	0.29	0.51	0.53	0.43
	三处理平均值	0.415	0.43	0.46	0.593	0.407	0.59	0.603	0.75
区 4 对照	处理(4- 1)	0.42	0.49	0.53	0.57	0.54	0.84	0.81	1.26
	处理(4- 2)	0.42	0.49	0.54	0.56	0.50	0.78	0.75	1.04
	处理(4- 3)	0.42	0.41	0.31	0.47	0.37	0.55	0.55	0.41
	三处理平均值	0.42	0.463	0.46	0.533	0.47	0.723	0.703	0.903

注: 测定年份为 1999 年喷施旱地龙二次, 1999 年 4 月 19 日、5 月 10 日各喷一次。

图 1 是喷施旱地龙的三个对比处理的小麦叶片气孔导度平均值对比柱状图。分析表明, 1999 年 4 月 19 日未喷旱地龙以前, 试验区 3 的地块中的气孔导度平均值高于对照区 4; 在 4 月 19 日及 5 月 10 日喷施旱地龙后, 试验区冬小麦的气孔导度均比对照区的气孔导度低。这就说明, 旱地龙可降低作物叶片气孔开张程度, 减少了作物蒸腾, 从而增加作物

植株的保水能力。

1.2.2 对作物光合作用的影响

光合速率是农作物同化物质积累的关键生理指标, 是反映作物光合作用强弱的主要标志。喷施旱地龙后由于缩小了作物叶片气孔的开张度, 使气孔导度降低, 这是否会影响光合作用, 是人们普遍关心的问题。为此, 我们在济南试验示范

区进行了冬小麦喷施旱地龙试验的不同处理各主要生育阶段的光合速率测试对比试验。表 6 是 1999 年 3 月 14 日~

1999 年 5 月 21 日的冬小麦试验的不同处理各主要生育阶段的光合速率测定值。

表 6 冬小麦不同处理的光合速率测试结果表(济南)

$\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$

处理		3月14日	3月27日	4月4日	4月15日	4月28日	5月6日	5月13日	5月16日	5月21日
区 3 试验	处理(3- 2)	10.425	17.52	18.16	20.08	17.25	16.85	15.43	13.73	13.70
	处理(3- 3)	10.425	17.83	17.98	19.95	17.50	21.10	20.60	15.40	16.00
	处理(3- 4)	10.425	13.58	14.53	18.06	16.33	16.77	15.70	13.05	14.13
	三处理平均值	10.425	16.31	16.89	19.363	17.027	18.24	17.243	14.06	14.61
区 4 对照	处理(4- 1)	10.92	17.37	18.15	20.04	15.18	15.83	15.24	11.88	12.08
	处理(4- 2)	10.92	17.84	18.03	19.98	15.03	16.15	15.10	10.00	11.85
	处理(4- 3)	10.92	14.83	14.24	18.45	13.93	15.73	10.11	9.64	10.70
	三处理平均值	10.92	16.68	16.81	19.49	14.713	15.903	13.483	10.507	11.543

备注: 喷施旱地龙二次, 1999 年 4 月 19 日、5 月 10 日各喷一次。

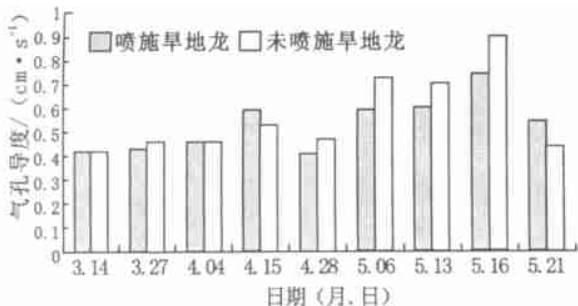


图 1 冬小麦喷施旱地龙气孔导度对比图

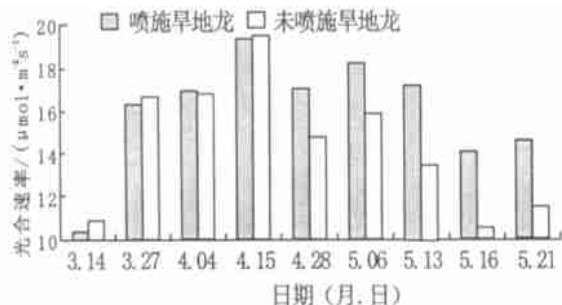


图 2 冬小麦喷施旱地龙光合速率对比图

图 2 是喷施旱地龙的三个处理小麦光合速率平均值与未用旱地龙的三个处理小麦光合速率平均值对比柱状图。

试验结果表明: 1999 年 4 月 19 日未喷旱地龙以前, 处理(3- 2)、(3- 3)、(3- 4)的地块中小麦光合速率平均值小

于处理(4- 1)、(4- 2)、(4- 3)的平均值; 在 4 月 19 日及 5 月 10 日喷施旱地龙后, 在喷施旱地龙处理(3- 2)、(3- 3)、(3- 4)的地块中, 冬小麦的光合速率均比未喷施的处理(4- 1)、(4- 2)、(4- 3)的光合速率高。在喷施旱地龙后小麦的光合速率在各个生育阶段均略高于未喷施的。整个生育期内, 冬小麦的光合速率总的趋势都是先升后降。3 月 14 日~ 4 月底总趋势增加, 以后逐渐降低, 喷施旱地龙的处理和未喷施旱地龙的处理光合速率总的趋势都是一致的。只是喷施旱地龙的作物的光合作用强于同期的未喷施旱地龙的作物。可见喷施旱地龙能增强作物的光合作用。

2 化学抗旱剂增产效果研究

2.1 粮食作物喷施化学抗旱剂

2.1.1 粮田冬小麦叶面喷施化学抗旱剂

(1) 水浇灌溉区。1998 年在桓台井灌区进行了小麦叶面喷施旱地龙试验, 结果见表 7。

表 7 西镇 1998 年冬小麦叶面喷施旱地龙效果对比(桓台)

处 理	有效穗数	穗粒数	千粒重	产 量	增 产
	/ (万穗 · hm ⁻²)	/粒	/g / (kg · hm ⁻²)	/%	
没喷施(对照)	658.00	27.67	35.0	5.955	0
叶喷一遍	666.25	29.58	36.55	6.390	7.3

1997 年~ 2000 年在临清示范区对冬小麦叶面喷施旱地龙(孕穗期、灌浆期各喷一次)进行试验观测, 结果见表 8。

表 8 小麦叶面喷施旱地龙与对照区产量对照表(临清)

年 份	试验处理	株高/cm	穗长/cm	千粒重/g	分蘖率/万株	穗粒数/个	产量/(kg · hm ⁻²)	增产幅度/%	水分生产率/(kg/m ³)
1997~ 1998	对照区	80	6.0	42.5	32.00	43	4740	--	1.29
	叶面喷施旱地龙	81	6.2	45.8	34.02	45	5040	6.33	1.72
1998~ 1999	对照区	67	5.5	46.5	36.44	44	4552.5	--	1.23
	叶面喷施旱地龙	70	6.3	47.4	39.67	44.5	4882.5	8.24	1.67
1999~ 2000	对照区	69	6.0	42.4	38.89	42	5325	--	1.47
	叶面喷施旱地龙	71	6.4	45.5	40.02	43	5700	7.04	1.56

表 7、表 8 试验结果显示, 在水浇灌溉区虽然作物可以得到适时灌溉, 作物叶面喷施旱地龙对作物生长和产量仍然发生很大的影响, 增产幅度在 8% 左右。试验测产分析在小麦的孕穗期和灌浆期两次喷施旱地龙的试验小区, 在同等灌水条件下, 穗粒数平均增多 1.17 粒, 千粒重增加 2.43 g, 水分生产率均达 1.5 kg/m³ 以上, 比对照区提高 6%~ 8%。

(2) 旱作农业区。1999~ 2000 年在胶东旱作农业区对无灌溉条件的冬小麦进行叶面喷施试验, 结果见表 9。

表 9 冬小麦叶面喷施旱地龙产量对比表 kg/hm²

处理	重复 1	重复 2	重复 3	平均产量	增产率
	产量	产量	产量		
起身、扬花期各喷一次	1645.5	3541.5	2610	2523	22.1
起身喷一次	1675.5	2854.5	2805	2475	19.7
扬花期喷一次	1672.5	2266.5	2919	2323.5	12.4
不喷施旱地龙	1530	1806	2703	2067	--

从表 9 试验结果可以看出: 旱作农业区作物叶面喷施旱地龙效果更为显著。上述试验结果显示, 在无灌溉条件下, 作物叶面喷施旱地龙可大幅度提高作物产量, 小麦增产幅度可达 12% ~ 22%。在作物不同时期叶面喷施旱地龙, 其效果也不相同, 喷施次数不同其效果也不一样。

2.1.2 粮食作物采用化学抗旱剂拌(浸)种与叶面喷施综合效果

1999~ 2000 年在桓台井灌区进行了小麦拌种与叶面喷施综合试验, 试验结果见表 10。

表 10 任庄 1999 年小麦旱地龙拌种 2000 年叶面喷施效果对比(桓台)

处 理	有效穗数 /(万穗·hm ⁻²)/ m	穗长 /cm	穗粒数 /粒	株高 /cm	孕穗期叶 面积系数	产量 /(kg·hm ⁻²)	增产 /%
旱地龙拌种且喷施	338.84	9.45	54.2389	75.4	62	7170	13.3
不拌不喷(对照)	317.68	9.2	56.985	83.8	81	6330	0

从上表中可见, 小麦用旱地龙拌种加喷施, 有效穗数提高 6%, 穗长增加 3%, 株高增加 5%, 孕穗期叶面积系数增加 21%, 产量增加 13.3%, 效果非常明显。

在旱作农业区进行了小麦拌种与叶面喷施综合试验, 其试验结果见表 11。

表 11 冬小麦采用旱地龙拌种加叶面喷施产量对比表

处 理	重复 1 产量	重复 2 产量	重复 3 产量	平均产量 kg/hm ²	增产率 /%
拌种加起身、扬花期各喷一次	1707	4348.5	3111	2971.5	43.8
拌种加起身喷一次	1842	3406.5	2950.5	2712	31.2
拌种加扬花期喷一次	1744.5	3609	2853	2742	32.7
不喷施旱地龙	1530	1806	2703	2067	--

注: 表 11 中的平均产量是试验区一个处理区的实测单位面积产量。

表 14 苹果树叶面喷施旱地龙效果对比表(济南)

处 理	下果前平均单 叶面积/cm ²	当年形成花 芽数/个	果形 80 mm 占有 数/%	平均单株产 量/%	产量/(kg·hm ⁻²)	增产率/%	备 注
喷施旱地龙	33.4	968	85	143	120120	23.3--	在果树开花到下果期间
未喷(对照)	24.6	645	64	116	97440		每 20 天喷一次旱地龙

果树喷施旱地龙后枝叶繁茂, 长势旺盛。从表 14 试验结果可见, 喷施旱地龙后的果树叶片比对照宽展肥厚, 叶色浓绿, 叶绿素含量增加, 光合作用增强, 抗旱、抗寒、抗病能力增强, 当年形成花芽数增加 50% 左右, 增产 23.3%。增产效益非常可观。

3 作物施用化学抗旱剂抗旱增产机理分析

作物施用旱地龙后能显著的改善作物各生育阶段的生态, 提高产量和品质, 增强作物抗旱能力, 减少作物耗水量, 节约灌溉用水。主要是因为化学抗旱剂——旱地龙的组成是天然低分子量的黄腐植酸, 植物所需的多种营养元素、氨基酸及生理活性强的多种生物活性基团。低分子量的黄腐植酸很容易被作物吸收, 它能降低作物叶片气孔的开张度, 从而减小了叶片的气孔导度, 提高了叶水势, 保持了植物体内的水分, 减小了作物的部分无效蒸腾, 减小了作物的耗水量, 也就减少了作物从土壤中消耗的水分, 提高了作物的抗旱能力; 旱地龙的组成成份能促进作物各种酶的活性, 使作物根

表 11 中的数据是在无灌溉条件地区降雨量偏少的年份得出的试验结果, 最高增产幅度达 43.8%。可见在旱作农业区施用旱地龙效果更为显著。

2.2 蔬菜喷施化学抗旱剂

1997 年在济南市示范区在近郊进行了大棚西红柿、黄瓜采用旱地龙喷施试验, 对比试验结果见表 12、表 13。

表 12 西红柿喷洒旱地龙效果对比表(济南)

处 理	平均比 对照延 长期/d	比对照 提前 采摘天 数/d	平均单 产量/ (kg·hm ⁻²)	平均增产 率/%	备 注
喷施旱地龙	21	10	112500	11.1	1997 年 4 月 5 日, 5 月 12 日各喷一次
未喷(对照)	0	0	101250		

表 13 黄瓜喷洒旱地龙效果对比表(济南)

处 理	平均比 对照延 长期/d	比对照 提前 采摘天 数/d	平均单 产量/ (kg·hm ⁻²)	平均增产 率/%	备 注
喷施旱地龙	24	11	7800	30	1997 年 4 月 5 日, 5 月 12 日各喷一次
未喷(对照)	0	0	6000		

在大棚西红柿、黄瓜上喷施旱地龙后, 西红柿黄瓜比对照明显的长势旺盛, 叶片宽厚舒展, 呈墨绿色。从表 12 和表 13 中可见: 喷施旱地龙的西红柿、黄瓜比对照提前上市 10 d 左右。比对照延长生长期 21~ 24 d, 增产幅度西红柿达 11.1%, 黄瓜达 30%。效果非常明显。

2.3 果树喷施化学抗旱剂

在济南示范区进行了红富士苹果叶面喷施旱地龙试验, 喷施方法为在果树开花以后至下果期间每隔 20 d 喷施一次, 对喷施后的果树测量其叶面积、花芽数、果形和产量, 其对比试验结果见表 14。

系发育, 发达的根系可以很好的吸收土壤深层的水分和更多的养分, 也同样增强了作物的抗旱及抗倒伏能力; 能提高作物体内的叶绿素含量, 提高光合速率, 增强光合作用, 增加干物质的积累, 从而提高作物的产量和品质。值得注意的是作物施用旱地龙, 虽然减小了叶片气孔开张度, 降低了蒸腾量, 但由于旱地龙综合因素的相互影响, 作物水分不亏缺, 又提高了叶绿素的含量, 故实际的光合强度不仅没有降低, 反而有所提高。

4 结 语

(1) 对于灌溉条件满足的地区, 大田作物采用旱地龙拌(浸)种、蘸(浸)根和喷施方法相结合, 冬小麦喷施时间可选在起身期、孕穗期、灌浆期; 玉米选在蹲苗期、大喇叭口期等作物关键生育期。平原水浇灌区冬小麦采用旱地龙拌(浸)种可增产 10% 以上; 采用小麦关键生育期喷施可增产 8% 左右; 冬小麦采用旱地龙拌(浸)种加关键生育期喷施可增产 13% 以上。

(2) 对于无灌溉条件的地区, 大田作物可全面使用旱地龙拌(浸)种、蘸(浸)根和喷施方法相结合, 冬小麦的喷施时间选在起身期、孕穗期、灌浆期; 玉米选在蹲苗期、大喇叭口期等作物关键生育期。在旱情来临之前要开始喷施, 干旱过程中要连续喷施旱地龙(每隔 10~15 d 喷一次)。旱作农业区冬小麦采用旱地龙拌(浸)种可增产 10% 以上; 采用小麦关键生育期喷施可增产 12~22%; 冬小麦采用旱地龙拌(浸)种加生育期喷施可增产高达 43.8%。

(3) 蔬菜、果树在苗期种植和移栽过程中, 可全面使用旱地龙拌(浸)种、蘸(浸)根; 在生长发育的苗期、果期、浆果期、花前期、果实膨大期进行喷施。可大幅度提高产量和品质, 促使蔬菜和果品早熟, 可提前上市, 并延长生育期。西红柿喷施旱地龙可提前 10 d 上市, 延长生育期 21 d 以上, 增产 11.1%; 黄瓜喷施旱地龙可提前 11 d 上市, 延长生育期 24 d 以上, 增产 30%; 果树喷施旱地龙使果树当年形成的花芽数增加 50% 左右, 增产 23.3%。

(上接第 96 页)

表 1 伊通河沉积物中重金属各形态相对含量 %

	可交换态	碳酸盐态	铁锰氧化物态	有机态	残渣态
Fe	1 0.10	0.05	11.74	5.07	83.04
	2 0.03	0.04	4.62	2.55	92.76
	3 0.05	0.05	10.25	4.65	85.00
	4 0.13	0.07	9.06	7.25	83.49
	5 0.02	0.02	11.45	5.53	82.98
	平均值 0.07	0.05	9.42	5.01	85.45
Mn	1 4.23	5.52	33.95	19.90	36.40
	2 9.26	2.49	48.97	19.59	19.69
	3 3.81	5.57	43.22	30.56	16.84
	4 5.33	5.55	42.31	28.60	18.21
	5 4.00	4.99	39.67	32.02	19.32
	平均值 5.33	4.82	41.62	26.13	22.09
Pb	1 4.64	6.09	29.59	30.67	29.01
	2 16.18	7.65	21.59	27.05	27.53
	3 16.42	13.45	24.96	25.46	19.71
	4 6.17	18.15	26.08	32.86	16.74
	5 4.14	13.24	18.75	31.19	32.68
	平均值 9.51	11.72	24.19	29.45	25.13
Cu	1 3.75	3.21	1.53	51.18	40.33
	2 2.12	10.14	2.61	7.04	78.09
	3 6.47	5.33	3.18	17.26	67.76
	4 6.43	5.60	3.57	29.81	54.59
	5 3.03	3.44	15.06	38.45	40.02
	平均值 4.36	5.54	5.19	28.75	56.16
Zn	1 4.72	7.77	39.72	10.81	36.98
	2 10.51	1.51	5.99	6.85	75.14
	3 3.75	7.76	21.76	11.07	55.66
	4 15.73	8.94	37.70	18.81	18.82
	5 4.50	10.96	44.56	19.99	19.99
	平均值 7.84	7.39	29.95	13.51	41.32

最大为 Mn(15.40%), 最低为 Fe(0.01%)。重金属元素在碳

参考文献:

- [1] 李任伟. 沉积物污染和环境沉积学[J]. 地球科学进展, 1998, 13(4): 398-402
- [2] 程晓东, 郭明新. 河流底泥重金属不同形态的生物有效性[J]. 农业环境保护, 2001, 20(1): 19-22
- [3] 朱广伟, 陈英旭, 周根娣, 等. 运河(杭州段)沉积物中重金属分布特征及变化[J]. 中国环境科学, 2001, 21(1): 65-69
- [4] 石浚哲, 刘光玉. 太湖沉积物重金属污染及生态风险评价[J]. 环境监测管理与技术, 2001, 13(3): 24-26
- [5] 王连生. 环境健康化学[M]. 北京: 科学出版社, 1994. 311-343
- [6] Tessier, A., P G Campbell, M Bisson. Sequential extraction procedure for the speciation of particulate trace metals[J]. Anal. Chem., 1979, 51(7): 844-851
- [7] 董德明, 杨彬, 刘淼. 化学连续浸提法对土壤中 Zn 和 Mn 化学形态的研究[J]. 吉林大学自然科学学报, 1998, (1): 62-66
- [8] Maiz I, Esnaola, V, Millán, E. Evaluation of heavy metal availability in contaminated soils by a short sequential extraction procedure [J]. The Science of the Total Environment, 1997, 206: 107-115
- [9] 杨宏伟, 王明仕, 徐爱菊, 等. 黄河(清水河段)沉积物中锰、钴、镍的化学形态研究[J]. 环境科学研究, 2001, 14(5): 20-22

酸盐结合态中的聚集能力为: Mn> Pb> Zn Cu> Fe。

铁锰氧化物态: 各重金属元素铁锰氧化物态的比例相差很大。Mn 最大为 45.76%, 铁最小为 9.08%。Mn 以铁锰氧化物结合态高比例存在, 符合多数河流中锰的存在情况。锰的这种分布既可以满足生物可利用态, 也有利于河道中痕量有毒元素的净化^[9]。重金属元素在铁锰氧化物态中的聚集能力顺序为: Mn> Zn> Pb Cu> Fe。

有机物结合态: 各重金属元素有机物结合态比例相差很大。最高为 Cu(41.75%), 最低为 Fe(9.02%)。重金属元素在有机物态中聚集能力顺序为: Cu Pb> Zn> Fe Mn。

残渣态: 分为两种情况, Fe 的残渣态含量很高, 达到 81.78%, 而其它重金属元素的残渣态含量都很低。重金属元素在残渣态聚集能力顺序为: Fe> Zn Pb Mn Cu。

综上所述, 伊通河沉积物中铁主要以残渣态存在, Mn、Pb、Cu、Zn 元素残渣态含量很低, 而有效态含量却很大, 一般在 70% 左右。由于有效态的重金属元素很容易被生物所利用, 所以, 伊通河沉积物中存在着潜在的重金属污染。由于各重金属元素性质的不同, 伊通河沉积物中重金属在各形态的叠加也有所区别, Pb 和 Cu 主要叠加在有机物态和残渣态中, 主要由于它们能与沉积物中有机质结合形成络合物, 同时, 在水底缺氧条件下, 有机物分解产生的 S^{2-} 能与 Pb 和 Cu 离子形成溶解度很小的硫化矿物。Zn 主要叠加在铁锰氧化物态中, 可能是其能与铁锰氧化物和氢氧化物发生吸附和共沉淀作用, 一同进入到沉积物中。