

果树

抗旱生理

王中英 著



中国农业出版社

果树抗旱生理

王中英 著

55

中国农业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

果树抗旱生理/王中英著. — 北京: 中国农业出版社,
2000.6

ISBN 7-109-06243-0

I. 果… II. 王… III. 果树-干旱-生理-研究 IV.
S660.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2000) 第 01027 号

中国农业出版社出版

(北京市朝阳区农展馆北路 2 号)

(邮政编码 100026)

出版人: 沈镇昭

责任编辑 郑剑玲

中国农业出版社印刷厂印刷 新华书店北京发行所发行

2000 年 6 月第 1 版 2000 年 6 月北京第 1 次印刷

开本: 850mm×1168mm 1/32 印张: 7.375

字数: 180 千字 印数: 1~1 000 册

定价: 36.00 元

(凡本版图书出现印刷、装订错误, 请向出版社发行部调换)

前 言

《果树抗旱生理》一书，是王中英教授留下的最后一部学术专著。王中英先生，一生为人民的教育事业忠心耿耿，无私奉献，在教学上辛勤耕耘，教书育人，为国家培养了大批博士生、硕士生和本、专科生；在科学研究上，勇于探索，成果累累，为果树学科的发展，为山西省及我国的果树事业和经济发展作出了重大贡献。他长期从事果树栽培生理研究，其中，不仅在矮化苹果树营养生理研究和组织解剖研究方面获得重大突破，达到国际先进水平，1994年和1991年分别获山西省理论成果一等奖和科技进步二等奖，1995年撰写出版了《矮化苹果树营养生理》一书；而且在果树抗旱生理方面也进行了大量的系统研究，并理论联系实际，指导生产实践。他主持完成的“太行山区旱地果树丰产技术研究”和“晋西黄土高原旱地果树丰产技术研究”课题，使山西省20个贫困县的果品产量和产值翻两番，使山西省果品增产2亿千克，增加产值3.18亿元。这两项科研成果分别于1995年和1997年获山西省科技进步二等奖。正当他在着手整理研究资料，总结生产经

验，准备撰写出版《果树抗旱生理》一书时，病魔却突然夺走了他的宝贵生命。为了了却王中英先生的夙愿，为了保存果树科学研究的珍贵资料，王中英先生的夫人陈静芬教授搜集了他的有关研究资料和手稿，与张玉龙、刘和、王丽雪、白瑞琴、吉晶、秦国新等人一起进行了系统地整理、撰写，并由张玉龙教授统稿后交中国农业出版社出版。

《果树抗旱生理》全书共 10 章，分别论述了干旱时果树的形态反应、生理变化（包括水分状况变化、渗透调节物质的含量变化、细胞渗透调节变化、细胞膜脂过氧化变化、保护系统变化、叶片气孔阻力变化、蒸腾速率变化、光合速率变化）和栽培技术对果树抗旱力的影响。

本书的撰写和出版得到中国农业出版社大力协助，在此谨致由衷谢意。由于我们的水平有限，在整理该书中，一定存在不少错误和缺点，恳请读者指正。书中插图由杜方、王艺绘制。

张玉龙等
于山西农业大学

1999 年 7 月

目 录

前言

第一章 干旱时果树水分状况变化

一、叶水分状况变化	1
(一) 叶水势 (Ψ_w) 变化	1
(二) 叶相对含水量 (RWC) 变化	7
(三) 砧木对叶水势和相对含水量的影响	13
二、新梢水分状况变化	16
(一) 新梢水势日变化	16
(二) 新梢相对含水量日变化	19
(三) 砧木对新梢水势和相对含水量的影响	22
三、细胞内自由水和束缚水含量变化	25
(一) 自由水含量变化	25
(二) 束缚水含量变化	28
(三) 自由水和束缚水比值变化	31
四、叶片萎蔫时各器官相对含水量变化	33
(一) 叶片暂时萎蔫时相对含水量变化	33
(二) 叶片永久萎蔫时相对含水量变化	34

第二章 干旱时果树渗透调节物质的含量变化

一、碳水化合物含量的变化	36
--------------------	----

(一) 淀粉含量的变化	37
(二) 可溶性碳水化合物含量的变化	37
二、有机酸含量的变化	42
(一) 苹果酸含量的变化	42
(二) 琥珀酸含量的变化	43
(三) 柠檬酸含量的变化	44
三、氨基酸含量的变化	45
(一) 脯氨酸	47
(二) 苏氨酸	50
(三) 丝氨酸	50
(四) 缬氨酸	51
(五) 谷氨酸	51
(六) 丙氨酸	52
(七) 精氨酸	52
(八) 甘氨酸	53
(九) 天冬氨酸	53
(十) 异亮氨酸	54
(十一) 酪氨酸	54
(十二) 亮氨酸	55
(十三) 组氨酸	55
(十四) 苯丙氨酸	56
(十五) 赖氨酸	56
四、无机离子含量的变化	58
(一) 钾离子 (K^+) 含量的变化	58
(二) 镁离子 (Mg^{++}) 含量的变化	59
(三) 钙离子 (Ca^{++}) 含量的变化	59

第三章 干旱时果树细胞渗透调节变化

一、细胞饱和渗透势 (Ψ_s°) 变化	61
---	-----------

(一) 不同叶位细胞饱和渗透势	61
(二) 不同生育期细胞饱和渗透势	63
二、细胞渗透调节能力 ($\Delta\Psi_s^\circ$) 的变化	65
(一) 不同叶位叶片细胞的渗透调节能力	65
(二) 不同生育期叶片细胞渗透调节能力	67
(三) 快速干旱时细胞的渗透调节能力	68

第四章 干旱时果树细胞膜脂过氧化变化

一、细胞内超氧物自由基 (O_2^-) 的产生率变化	71
二、细胞内丙二醛 (MDA) 含量变化	74
三、细胞膜脂组分变化	82
(一) 饱和脂肪酸含量变化	82
(二) 不饱和脂肪酸含量变化	83
(三) 不饱和脂肪酸指数 (IUFA) 变化	84
四、细胞质膜脂的相对透性变化	85

第五章 干旱时果树保护(酶)系统变化

一、超氧化物歧化酶 (SOD) 活性变化	90
二、过氧化氢酶 (CAT) 活性变化	99
三、过氧化物酶 (POD) 活性变化	107
四、抗坏血酸 (V_C) 含量变化	111
五、可溶性蛋白质含量变化	115
六、叶绿素含量变化	118

第六章 干旱时果树叶片气孔阻力 (R_s) 的变化

一、不同干旱条件下的叶片气孔阻力	124
二、不同叶位叶片的气孔阻力	126
三、不同干旱程度下气孔阻力的日变化	127
四、不同干旱程度下气孔导度 (G_s) 日变化	129

五、持续干旱对气孔导度的影响	132
----------------------	-----

第七章 干旱时果树蒸腾速率 (T_r) 的变化

一、干旱时果树蒸腾速率的日变化	135
二、干旱时不同叶位叶片的蒸腾速率	137
三、持续干旱对果树蒸腾速率的影响	138

第八章 干旱时果树光合速率的变化

一、光合速率的日变化	143
二、持续干旱时光合速率的变化	146
三、叶水势与光合速率	149
(一) 叶水势与光合速率的日变化	149
(二) 持续干旱叶片水势与光合速率	151
四、叶片相对含水量与光合速率	155
(一) 相对含水量与光合速率的日变化	155
(二) 持续干旱叶片相对含水量与光合速率	156
五、叶片气孔导度与光合速率	160
(一) 气孔导度与光合速率的日变化	160
(二) 持续干旱气孔导度与光合速率	161
六、叶片叶绿素含量与光合速率	165
七、蒸腾速率与光合速率	169

第九章 干旱时果树的形态反应

一、干旱对果树营养生长的影响	170
(一) 干旱对果树根系生长的影响	170
(二) 新梢生长量变化	173
二、水分亏缺对花芽分化、开花坐果及果实发育的影响	180
(一) 水分对花芽形成的影响	180
(二) 水分对开花、坐果的影响	180

(三) 水分对果实发育的影响	181
----------------------	-----

第十章 栽培技术对果树抗旱力的影响

一、多效唑 (PP333) 对果树抗旱力的影响	188
(一) 多效唑对叶水势 (Ψ_w) 的影响	188
(二) 多效唑对叶相对含水量 (RWC) 的影响	188
(三) 多效唑对蒸腾速率 (T_r) 的影响	189
(四) 多效唑对渗透调节物质含量的影响	190
(五) 多效唑对保护酶系统的影响	194
(六) 多效唑对细胞膜脂过氧化的影响	196
(七) 多效唑对细胞质膜相对透性的影响	196
二、自由基清除剂 (二苯胺) 对果树抗旱力的影响	198
(一) 二苯胺对叶水势 (Ψ_w) 的影响	198
(二) 二苯胺对可溶性蛋白含量的影响	198
(三) 二苯胺对叶绿素含量的影响	199
(四) 二苯胺对细胞膜脂过氧化的影响	199
(五) 二苯胺对细胞质膜相对透性的影响	200
三、抗蒸腾剂对果树抗旱力的影响	200
(一) 抗旱剂一号 (FA)	200
(二) 乙酰水杨酸	202
(三) 丰收宝	203
四、秸秆覆盖对果树抗旱力的影响	203
(一) 秸秆覆盖对水势 (Ψ_w) 的影响	204
(二) 秸秆覆盖对相对含水量 (RWC) 的影响	205
(三) 秸秆覆盖对叶绿素含量的影响	205
(四) 秸秆覆盖对叶绿素 a/b 值的影响	206
(五) 秸秆覆盖对无机离子含量的影响	207
(六) 秸秆覆盖对叶光合速率 (P_n) 的影响	207
五、地膜覆盖对果树抗旱力的影响	209

(一) 地膜覆盖对果园土壤影响	209
(二) 地膜覆盖对果树的影响	211
六、覆沙抗旱	213
七、保水剂对果树抗旱的作用	213
(一) 土壤保水剂	213
(二) 树体保水剂	214
八、果树修剪与抗旱	217
九、果树不同树种的抗旱研究	219

第一章

干旱时果树水分状况变化

土壤干旱和水分胁迫时果树水势下降，相对含水量及细胞内自由水含量减少，细胞束缚水含量增加，而且这些指标都随土壤干旱程度的加剧、干旱时间的延长而加剧变化。

一、叶水分状况变化

(一) 叶水势 (Ψ_w) 变化

1. 叶水势日变化 土壤干旱和水分胁迫时，新红星苹果树叶水势日变化的总趋势和正常供水树基本一致，均呈 V 形曲线变化。即清晨较高，以后逐渐下降，到中午达最低点，随后又逐渐增高，到傍晚基本接近清晨水平。在日变化进程中，水分胁迫树的叶水势均低于正常供水树，并且随着干旱程度的加剧，各处理间的差距也加大。

土壤轻度干旱（土壤含水量为田间最大持水量的 55% ~ 60%，下同）时，新红星苹果树清晨 6 时叶水势和对照（土壤含水量为田间最大持水量的 70% ~ 75%，下同）比较接近，仅比对照低 $0.06 \times 10^5 \text{Pa}$ 。以后，叶水势较快下降，到上午 8 时，可比清晨 6 时下降 $0.87 \times 10^5 \text{Pa}$ ；对照下降较少，仅减少 $0.54 \times 10^5 \text{Pa}$ ，轻度干旱比对照低 $0.33 \times 10^5 \text{Pa}$ 。6 时以后，轻度干旱树

的叶水势较快下降，10 时时又比 8 时下降了 $0.47 \times 10^5 \text{Pa}$ ；对照下降了 $0.67 \times 10^5 \text{Pa}$ ，轻度干旱树仍比对照低 $0.19 \times 10^5 \text{Pa}$ 。以后，两种情况下叶水势的下降值都比较接近，轻度干旱树 12 时叶水势又比 10 时减少 $0.59 \times 10^5 \text{Pa}$ ，达全天的最低点；对照减少了 $0.74 \times 10^5 \text{Pa}$ ，轻度干旱仅比对照低 $0.04 \times 10^5 \text{Pa}$ 。午后，叶水势开始缓慢上升，到 14 时，轻度干旱树的叶水势比 12 时增高 $0.19 \times 10^5 \text{Pa}$ ；对照增加 $0.24 \times 10^5 \text{Pa}$ ，前者比后者仅低 $0.09 \times 10^5 \text{Pa}$ 。以后，叶水势较快上升。16 时轻度干旱树的叶水势又比 14 时增高了 $0.44 \times 10^5 \text{Pa}$ ；对照增高了 $0.62 \times 10^5 \text{Pa}$ ，前者比后者低 $0.27 \times 10^5 \text{Pa}$ 。到傍晚 18 时，轻度干旱树比 16 时增高了 $0.81 \times 10^5 \text{Pa}$ ；对照增加了 $0.76 \times 10^5 \text{Pa}$ ，这时已缩小了和清晨叶水势间的差距，但轻度干旱树仍比对照低 $0.22 \times 10^5 \text{Pa}$ 。在叶水势日变化进程中，轻度干旱树的叶水势虽低于对照，但差异未达显著水平（表 1-1，图 1-1）。

表 1-1 水分胁迫时新红星苹果树叶水势日变化 ($\times 10^5 \text{Pa}$)
(1997)

处 理	6h	8h	10h	12h	14h	16h	18h
对 照	-0.39	-0.92	-1.60	-2.34	-2.10	-1.48	-0.72
轻度干旱	-0.45	-1.32	-1.79	-2.38	-2.19	-1.75	-0.94
中度干旱	-0.85	-1.87	-2.05	-2.77	-2.24	-2.03	-1.74
严重干旱	-1.26	-2.13	-2.35	-3.55	-2.58	-2.42	-2.23

土壤中度干旱（土壤含水量为田间最大持水量的 40% ~ 45%，下同）时新红星苹果树清晨 6 时叶水势已明显低于对照，可比对照低 $0.46 \times 10^5 \text{Pa}$ ，比轻度干旱树低 $0.40 \times 10^5 \text{Pa}$ 。以后，叶水势急速下降，到 8 时，中度干旱树的叶水势已比 6 时下降 $1.02 \times 10^5 \text{Pa}$ ，比对照低 $0.94 \times 10^5 \text{Pa}$ ，比轻度干旱树低 $0.55 \times 10^5 \text{Pa}$ 。以后，下降较缓慢，10 时又比 8 时下降 $0.18 \times 10^5 \text{Pa}$ ，

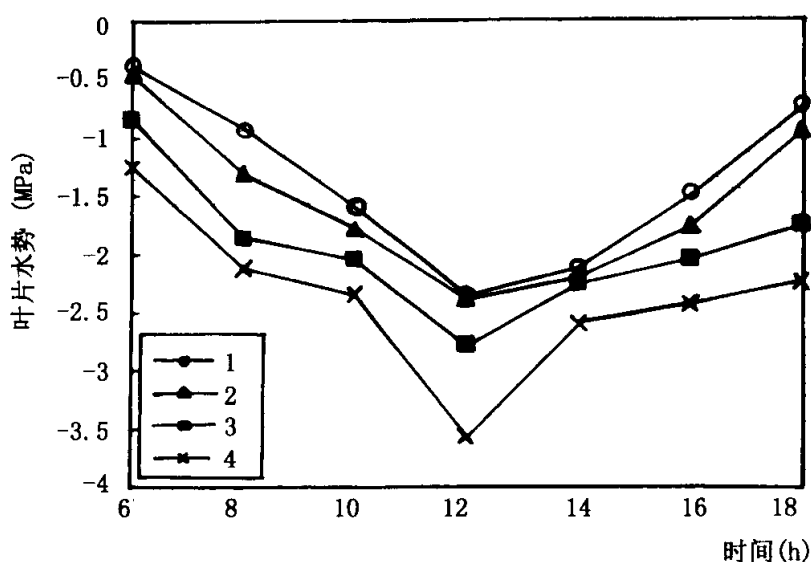


图 1-1 水分胁迫时苹果叶水势日变化

1. 对照 2. 轻度干旱 3. 中度干旱 4. 严重干旱

比对照低 $0.45 \times 10^5 \text{Pa}$ ，比轻度干旱树低 $0.26 \times 10^5 \text{Pa}$ 。以后又较快下降，12 时，中度干旱树叶水势也达最低点，可比 10 时下降 $0.72 \times 10^5 \text{Pa}$ ，比对照低 $0.43 \times 10^5 \text{Pa}$ ，比轻度干旱树低 $0.39 \times 10^5 \text{Pa}$ 。午后，叶水势较快上升，14 时可比 12 时增高 $0.53 \times 10^5 \text{Pa}$ ，此时的叶水势与对照和轻度干旱树比较接近，但仍比对照低 $0.14 \times 10^5 \text{Pa}$ ，比轻度干旱树低 $0.05 \times 10^5 \text{Pa}$ 。以后，叶水势仍逐渐缓慢增高，到 16 时比 14 时高 $0.21 \times 10^5 \text{Pa}$ ，但比对照低 $0.55 \times 10^5 \text{Pa}$ ，比轻度干旱树低 $0.28 \times 10^5 \text{Pa}$ 。以后，中度干旱树叶水势仍缓慢增高，到傍晚 18 时，可比 16 时增高 $0.29 \times 10^5 \text{Pa}$ ，仍比对照低 $1.02 \times 10^5 \text{Pa}$ ，比轻度干旱树低 $0.80 \times 10^5 \text{Pa}$ ，这时又加大了处理间叶水势的差距。在叶水势日变化进程中，中度干旱树的叶水势和对照及轻度干旱树间的差异均达显著水平。

土壤严重干旱（土壤含水量为田间最大持水量的 25% ~ 30%，下同）时新红星苹果清晨 6 时叶水势显著低于对照，可比

对照低 $0.87 \times 10^5 \text{Pa}$, 比轻度干旱树低 $0.8 \times 10^5 \text{Pa}$, 比中度干旱树低 $0.4 \times 10^5 \text{Pa}$ 。以后, 叶水势急速下降, 到 8 时, 严重干旱树叶水势已比 6 时下降 $0.87 \times 10^5 \text{Pa}$, 可比对照低 $1.20 \times 10^5 \text{Pa}$, 比轻度干旱树低 $0.81 \times 10^5 \text{Pa}$, 比中度干旱树低 $0.26 \times 10^5 \text{Pa}$ 。以后, 下降比较缓慢, 到 10 时, 叶水势比 8 时下降 $0.22 \times 10^5 \text{Pa}$, 但仍比对照低 $0.75 \times 10^5 \text{Pa}$, 比中度干旱树低 $0.30 \times 10^5 \text{Pa}$ 。以后, 叶水势急剧下降, 12 时也出现最低点, 可比 10 时下降 $1.20 \times 10^5 \text{Pa}$, 比对照低 $1.21 \times 10^5 \text{Pa}$, 比轻度干旱树低 $1.17 \times 10^5 \text{Pa}$, 比中度干旱树低 $0.78 \times 10^5 \text{Pa}$ 。午后, 叶水势急速增高, 14 时可比 12 时增高 $0.97 \times 10^5 \text{Pa}$, 但仍比对照低 $0.48 \times 10^5 \text{Pa}$, 比轻度干旱树低 $0.39 \times 10^5 \text{Pa}$, 比中度干旱树低 $0.34 \times 10^5 \text{Pa}$ 。以后, 叶水势又缓慢上升, 16 时又比 14 时增高 $0.16 \times 10^5 \text{Pa}$, 这时又加大了严重干旱树和对照、轻度干旱及中度干旱树间的差距, 比对照低 $0.94 \times 10^5 \text{Pa}$, 比轻度干旱树低 $0.67 \times 10^5 \text{Pa}$, 比中度干旱树低 $0.39 \times 10^5 \text{Pa}$ 。以后, 叶水势继续缓慢增高, 到傍晚 18 时可比 16 时增高 $0.19 \times 10^5 \text{Pa}$, 仍分别比对照、轻度干旱及中度干旱树低 $1.51 \times 10^5 \text{Pa}$ 、 $1.29 \times 10^5 \text{Pa}$ 和 $0.49 \times 10^5 \text{Pa}$ 。在叶水势的日变化进程中, 严重干旱树与对照、轻度干旱及中度干旱树间的差异均达显著水平。

2. 持续干旱时叶水势变化 果园土壤持续干旱时, 随水分胁迫时间的延长, 不同干旱程度树体的叶水势继续下降, 不同处理间的差异也更加显著, 但在此期间, 对照的叶水势基本稳定, 无明显变化。土壤持续干旱第三天, 轻度干旱树叶水势比处理前下降了 $0.02 \times 10^5 \text{Pa}$, 与对照的差距由原来的 $0.02 \times 10^5 \text{Pa}$ 增加到 $0.06 \times 10^5 \text{Pa}$ 。以后, 叶水势继续下降, 不断加大与对照间的差距。土壤持续干旱的第六天, 可比第三天下降 $0.05 \times 10^5 \text{Pa}$, 比对照低 $0.12 \times 10^5 \text{Pa}$ 。土壤持续干旱第九天, 轻度干旱树叶水势又下降了 $0.09 \times 10^5 \text{Pa}$, 比对照低 $0.20 \times 10^5 \text{Pa}$ 。土壤持续干旱第十二天时又比第九天下降 $0.09 \times 10^5 \text{Pa}$, 比对照低 $0.30 \times$

10^5Pa 。土壤持续干旱第十五天，轻度干旱树叶水势又比第十二天下降 $0.13 \times 10^5\text{Pa}$ ，比对照低 $0.45 \times 10^5\text{Pa}$ ，相差可达 1.32 倍。土壤持续干旱第十八天，叶水势又可下降 $0.13 \times 10^5\text{Pa}$ ，比对照低 $0.57 \times 10^5\text{Pa}$ ，相差可达 1.63 倍。土壤持续干旱第二十天，叶水势又比第十八天下降 $0.18 \times 10^5\text{Pa}$ ，比对照低 $0.76 \times 10^5\text{Pa}$ ，相差可达 2.24 倍，比处理前下降了 $0.69 \times 10^5\text{Pa}$ 。恢复供水后，轻度干旱树叶水势能迅速增高。恢复供水后第四天，叶水势比干旱 21d 的增高 $0.60 \times 10^5\text{Pa}$ ，此值虽接近对照，但仍比对照低 $0.15 \times 10^5\text{Pa}$ （表 1-2、图 1-2）。

表 1-2 持续干旱对苹果叶水势的影响 ($\times 10^5\text{Pa}$)
(1997)

处 理	0d	3d	6d	9d	12d	15d	18d	21d	供水后 4d
对 照	-0.39	-0.37	-0.36	-0.37	-0.36	-0.34	-0.35	-0.34	-0.35
轻度干旱	-0.41	-0.43	-0.48	-0.57	-0.66	-0.79	-0.92	-1.10	-0.50
中度干旱	-0.42	-0.45	-0.59	-0.94	-1.22	-1.57	-1.83	-2.04	-1.41
严重干旱	-0.40	-0.51	-1.13	-1.60	-2.13	-2.32	-2.55	-3.12	-2.57

中度干旱树在土壤持续干旱第三天，叶水势比处理前下降 $0.03 \times 10^5\text{Pa}$ ，比对照从原来低 $0.05 \times 10^5\text{Pa}$ 扩大到低 $0.08 \times 10^5\text{Pa}$ ，比轻度干旱树低 $0.02 \times 10^5\text{Pa}$ 。以后，叶水势继续较快下降，不断加大与对照和轻度干旱树的差距。土壤持续干旱第六天，可比第三天下降 $0.14 \times 10^5\text{Pa}$ ，比对照低 $0.23 \times 10^5\text{Pa}$ ，比轻度干旱树低 $0.1 \times 10^5\text{Pa}$ 。土壤持续干旱第九天，可比第六天下降 $0.35 \times 10^5\text{Pa}$ ，比对照低 $0.57 \times 10^5\text{Pa}$ ，也比轻度干旱树低 $0.37 \times 10^5\text{Pa}$ 。土壤持续干旱第十二天，中度干旱树叶水势可比第九天下降 $0.28 \times 10^5\text{Pa}$ ，比对照低 $0.06 \times 10^5\text{Pa}$ ，相差 2.39 倍，比轻度干旱树低 $0.56 \times 10^5\text{Pa}$ 。土壤持续干旱第十五天可比

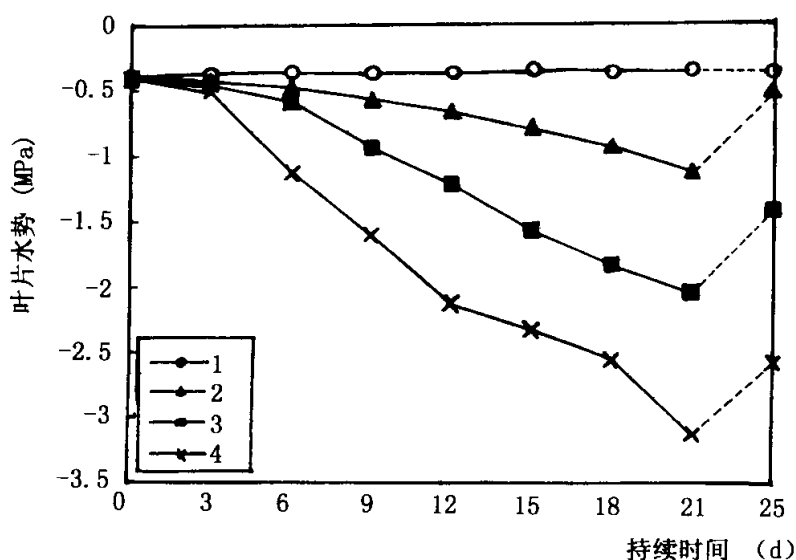


图 1-2 持续干旱时苹果叶水势变化

1. 对照 2. 轻度干旱 3. 中度干旱 4. 严重干旱

第十二天下降 $0.35 \times 10^5 \text{Pa}$, 比对照低 $1.23 \times 10^5 \text{Pa}$, 相差 3.62 倍, 比轻度干旱树低 $0.78 \times 10^5 \text{Pa}$ 。土壤持续干旱第十八天又比第十五天下降 $0.26 \times 10^5 \text{Pa}$, 比对照低 $1.48 \times 10^5 \text{Pa}$, 相差达 4.2 倍, 比轻度干旱树低 $0.91 \times 10^5 \text{Pa}$ 。土壤持续干旱第二十天, 中度干旱树叶水势可比第十八天时下降 $0.21 \times 10^5 \text{Pa}$, 比对照低 $1.70 \times 10^5 \text{Pa}$, 相差达 5 倍, 比轻度干旱树低 $0.94 \times 10^5 \text{Pa}$, 比处理前下降了 $1.62 \times 10^5 \text{Pa}$ 。恢复供水后, 中度干旱树叶水势仍能迅速增高, 恢复供水第四天, 叶水势可比供水前增高 $0.6 \times 10^5 \text{Pa}$, 但仍明显低于对照和轻度干旱, 可比对照低 $1.06 \times 10^5 \text{Pa}$, 相差仍可达 3.03 倍, 比轻度干旱树低 $0.91 \times 10^5 \text{Pa}$ 。在持续干旱期间差异均达显著水平。中度干旱树在短期内难以恢复到处理前的水平, 也难以接近对照和轻度干旱树的水平。

严重干旱树在土壤持续干旱第三天, 叶水势可比处理前下降 $0.11 \times 10^5 \text{Pa}$, 比对照从原来低 $0.03 \times 10^5 \text{Pa}$ 扩大到低 $0.14 \times 10^5 \text{Pa}$, 比轻度干旱树低 $0.08 \times 10^5 \text{Pa}$, 比中度干旱树低 $0.06 \times$