

不同品种甘蔗茎尖细胞分裂节律研究

李素丽, 林鉴钊, 王俊丽, 陶春娘, 艾素云, 杨丽涛

(广西大学农学院, 广西南宁 530005)

摘要:对6个不同甘蔗品种(粤糖91/976、粤糖86/368、桂糖11号、新台糖16、CP80、农林8号)茎尖生长点细胞分裂进行切片观察研究,结果表明:甘蔗一天内(白天)不同时间都存在细胞分裂,而且细胞分裂指数呈规律性变化,大部分呈先升后降再上升的变化趋势。除了桂糖11号在8:00出现细胞分裂高峰之外,其它五个品种均在10:00出现细胞分裂高峰期,12:00~14:00是细胞分裂的低谷。种在不同生长时期细胞分裂指数变化规律不一样,细胞分裂高峰期出现的时期也不一样,早熟品种出现的时期早一些,晚熟品种则晚一些。甘蔗茎径和各生长时期细胞分裂指数是呈正相关的,茎径大,细胞分裂指数高,相反,茎径小,细胞分裂指数低。

关键词:甘蔗; 细胞; 细胞分裂指数; 高峰期

中图分类号: Q942 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3142(2004)02-0188-05

Study on the cell division rhythm of different sugarcane varieties

LI Su-li, LIN Jian-zhao, WANG Jun-li,
TAO Chun-niang, AI Su-yun, YANG Li-tao

(Agriculture College, Guangxi University, Nanning 530005, China)

Abstract: Field experiment was carried out to study the cell division index of stem apices growing point of six sugarcane varieties (Yuetang 91/976, Yuetang 86/368, G11, ROC 16, CP 80, Nonglin 8). The cell is dividing at all day and the cell division index is changing regularly. The cell division peak of G 11 appeared at 8 : 00 am, but the others at 10 : 00 am. There was a nadir from 12 : 00 to 14 : 00. The law of cell division index of sugarcane was different with the sugarcane growing stage, the peak of cell division of the early maturing varieties emerged earlier, the later varieties emerged later. Cell division index of six sugarcanes was significantly different at the level 0. 05, Yuetang 86/368 was the highest (2. 30%), moreover Nonglin 8 is the lowest (0. 77%). The correlation of cell division index and the stem diameter in different growing stages was positive. The correlation on June 30 was significant at the level of 0. 05, on July 11 reached at level 0. 01.

Key words: sugarcane; cell; cell division index

甘蔗的生长、发育、繁殖都离不开细胞的分裂,还有甘蔗染色体、细胞分裂的方向性、伸长和增粗机理等方面的研究,都是在细胞进行分裂的前提下进行的。但是,在什么时候取样才能看到较多的细胞分裂相呢?到底作物细胞分裂是否存在细胞分裂高

峰期呢?目前有不同的看法,有人认为作物一天中白天不存在细胞分裂高峰期,而有人则认为存在细胞分裂高峰期(AC 吉斯,1984)。张泽林(1999)认为洋葱根尖的细胞分裂相的决定因素是取材时间。而甘蔗在一天中到底有没有细胞分裂高峰期呢?甘

收稿日期: 2003-03-07 修订日期: 2003-09-04

基金项目: 国家自然科学基金资助(30060038)

作者简介: 李素丽(1972-),女,广西上林人,硕士,主要从事植物解剖生理及化学调控研究。

蔗在不同的生育时期细胞分裂变化如何? 甘蔗茎径大小具有基因型差异(王鉴明, 1985; 彭绍光, 1990; 骆君骥 1992), 而甘蔗细胞分裂与不同茎径基因型之间差异又是怎样? 这方面在国内外都未见有报道。本文研究了 6 个不同甘蔗品种细胞有丝分裂指数的日变化、季节变化以及不同基因型间的差别, 旨在探索甘蔗细胞分裂这些节律, 为甘蔗的相关理论研究和指导甘蔗生产提供依据。

1 材料和方法

1.1 试验材料

实验材料是粤糖 86/368、粤糖 91/976、桂糖 11 号、新台糖 16、CP80、农林 8 号 6 个甘蔗品种, 在广西农业科学院甘蔗研究所实验地种植, 采用随机区

组设计, 3 次重复, 5 行区, 行宽 1.3 m, 行长 6 m, 小区面积 7.8 m², 每行 80 芽, 每小区种 400 芽。

田间管理与一般生产田相同, 1 月份砍收甘蔗时, 测量甘蔗茎径。

1.2 方法

选择 6~7 月份甘蔗快速生长期, 选取各品种中等大小, 长相一致的植株, 每隔 10 d 左右定时取样, 即分别于 6 月 9 日、6 月 17 日、6 月 30 日、7 月 11 日、7 月 21 日取样, 每一天分 6 个时间段: 8:00、10:00、12:00、14:00、16:00 和 18:00 进行, 每个时间段固定 3 个茎尖。制片方法参考李懋学(1991)的方法, 将茎尖放入卡诺溶液中固定 5~24 h, 再转入 70% 酒精中保存备用。用固定后的茎尖在等量的 95% 酒精和浓盐酸混合液中离析 3~10 min, 剥除幼叶, 在立体显微镜下取生长锥, 用改良

表 1 粤糖 91/976 茎尖与新台 16 茎尖在白天中的细胞分裂指数
Table 1 Cell division index of stem apex of Yuetang 91/976 and ROC 16 in a day

项目 Items	粤糖 Yuetang 91/976 (月 Month-日 Day)					新台 ROC 16 (月 Month-日 Day)				
	06-09	06-17	06-30	07-11	07-21	06-09	06-17	06-30	07-11	07-21
8:00 观察细胞总数(个)Observed number of cell	1 391	1 065	835	672	762	1 012	1 089	1 060	918	1 171
分裂中期细胞数(个)The number of metaphase cell	13	4	18	11	10	5	10	20	32	7
细胞分裂指数(%)Cell division index	0.93	0.38	2.16	1.64	1.31	0.49	0.92	1.89	3.49	0.60
10:00 观察细胞总数(个)Observed number of cell	815	703	879	899	731	1 005	1 114	936	1 000	1 534
分裂中期细胞数(个)The number of metaphase cell	9	2	11	18	7	12	10	5	20	12
细胞分裂指数(%)Cell division index	1.10	0.28	1.25	2.00	0.96	1.19	0.90	0.53	2.00	0.78
12:00 观察细胞总数(个)Observed number of cell	958	648	973	1 034	798	1 198	897	1 032	888	947
分裂中期细胞数(个)The number of metaphase cell	9	2	12	16	5	6	3	5	3	7
细胞分裂指数(%)Cell division index	0.94	0.31	1.23	1.55	0.63	0.50	0.33	0.48	0.34	0.74
14:00 观察细胞总数(个)Observed number of cell	626	1 061	875	879	772	1 187	853	1 014	1 190	1 056
分裂中期细胞数(个)The number of metaphase cell	12	5	7	12	8	5	12	9	9	3
细胞分裂指数(%)Cell division index	1.92	0.47	0.80	1.37	1.04	0.42	1.41	0.89	0.76	0.28
16:00 观察细胞总数(个)Observed number of cell	977	946	891	847	1 014	1 085	918	1 021	1 000	694
分裂中期细胞数(个)The number of metaphase cell	12	6	6	13	10	16	7	14	4	4
细胞分裂指数(%)Cell division index	1.23	0.63	0.67	1.53	0.99	1.47	0.76	1.37	0.40	0.58
18:00 观察细胞总数(个)Observed number of cell	906	786	885	700	1 057	1 149	1 025	1 061	842	715
分裂中期细胞数(个)The number of metaphase cell	7	5	5	10	15	12	7	8	14	8
细胞分裂指数(%)Cell division index	0.77	0.64	0.56	1.43	1.42	1.04	0.68	0.75	1.66	1.12

苯酚进行整染 8~16 min, 然后均匀分成 3 份进行压片, 每个玻片随机观察 5 个视野(40 倍物镜下观察), 以细胞分裂中期作为细胞分裂的标准来统计细胞的分裂指数, 研究甘蔗日周期细胞分裂情况、发育阶段与细胞分裂的关系以及品种间细胞分裂的差异等。

1.3 数据处理

对供试 6 个品种, 每个品种 5 个时期, 每个时期 6 个时间段, 共制作 480 片玻片, 观察 1 500 000 多个细胞, 以处于有丝分裂中期的细胞数与被观察的细胞总

数之比(用百分数)表示细胞分裂指数, 制成表 1~5。

用 MICROSOFT EXCEL 作图, 数据用 SPSS 软件作方差和相关性分析(蔡程辉等, 2001)。

2 结果和分析

2.1 甘蔗一天(白天)的细胞分裂节律

不同的甘蔗品种在不同时期日茎尖细胞分裂节律有所差别, 表 1~3 表明: 所有供试品种在一天(白

表 2 农林 8 号与桂糖 11 号茎尖在白天中的细胞分裂指数
Table 2 Cell division index of stem apex of Nonglin 8 and Guitang 11 in a day

项目 Items	农林 Nonglin 8 (月 Month-日 Day)					桂糖 Guitang 11 (月 Month-日 Day)				
	06-09	06-17	06-30	07-11	07-21	06-09	06-17	06-30	07-11	07-21
8:00 观察细胞总数(个)Observed number of cell	916	903	815	817	1 035	1 033	632	693	820	672
分裂中期细胞数(个)The number of metaphase cell	5	1	6	6	15	20	15	21	16	13
细胞分裂指数(%)Cell division index	0.55	0.11	0.74	0.73	1.45	1.94	2.37	3.03	1.95	1.93
10:00 观察细胞总数(个)Observed number of cell	853	798	770	1 070	899	651	787	679	921	841
分裂中期细胞数(个)The number of metaphase cell	8	10	10	4	12	13	12	21	15	16
细胞分裂指数(%)Cell division index	0.94	1.25	1.30	0.37	1.33	2.00	1.52	3.09	1.63	1.90
12:00 观察细胞总数(个)Observed number of cell	1 290	901	959	901	860	677	685	858	791	1 062
分裂中期细胞数(个)The number of metaphase cell	14	1	8	2	6	10	11	16	12	15
细胞分裂指数(%)Cell division index	1.09	0.11	0.83	0.22	0.70	1.48	1.61	1.86	1.52	1.41
14:00 观察细胞总数(个)Observed number of cell	1 313	1 056	619	725	843	802	807	898	798	778
分裂中期细胞数(个)The number of metaphase cell	6	1	8	7	5	15	13	15	12	12
细胞分裂指数(%)Cell division index	0.46	0.09	1.29	0.97	0.59	1.87	1.61	1.67	1.50	1.54
16:00 观察细胞总数(个)Observed number of cell	1 195	987	985	809	724	907	854	882	712	731
分裂中期细胞数(个)The number of metaphase cell	15	1	5	6	3	9	11	13	23	14
细胞分裂指数(%)Cell division index	1.26	0.10	0.51	0.74	0.41	0.99	1.29	1.47	3.23	1.92
18:00 观察细胞总数(个)Observed number of cell	1 189	782	998	896	873	837	1 107	852	626	771
分裂中期细胞数(个)The number of metaphase cell	10	2	9	3	7	15	14	19	11	14
细胞分裂指数(%)Cell division index	0.84	0.26	0.90	0.33	0.80	1.79	1.26	2.23	1.76	1.82

表 3 粤糖 86/368 茎尖与 CP 80 在白天中的细胞分裂指数
Table 3 Cell division index of stem apex of Yuetang 86/368 sugarcane and CP 80 in a day

项目 Items	粤糖 Yuetang 86/368 (月 Month-日 Day)					CP 80 (月 Month-日 Day)				
	06-09	06-17	06-30	07-11	07-21	06-09	06-17	06-30	07-11	07-21
8:00 观察细胞总数(个)Observed number of cell	736	701	601	1 113	626	680	533	629	546	615
分裂中期细胞数(个)The number of metaphase cell	30	8	11	58	13	9	8	9	8	8
细胞分裂指数(%)Cell division index	4.08	1.14	1.83	5.21	2.08	1.32	1.50	1.43	1.47	1.30
10:00 观察细胞总数(个)Observed number of cell	898	798	812	818	1 038	792	551	594	818	671
分裂中期细胞数(个)The number of metaphase cell	37	8	18	42	26	9	14	13	11	9
细胞分裂指数(%)Cell division index	4.12	1.00	2.22	5.13	2.50	1.14	2.54	2.19	1.34	1.34
12:00 观察细胞总数(个)Observed number of cell	907	874	711	770	743	641	740	606	700	735
分裂中期细胞数(个)The number of metaphase cell	3	11	22	32	15	7	3	7	9	6
细胞分裂指数(%)Cell division index	0.33	1.26	3.09	4.16	2.02	1.09	0.41	1.16	1.29	0.82
14:00 观察细胞总数(个)Observed number of cell	1 244	813	751	744	800	593	747	645	574	789
分裂中期细胞数(个)The number of metaphase cell	27	11	12	25	6	5	2	10	7	6
细胞分裂指数(%)Cell division index	2.17	1.35	1.60	3.36	0.75	0.84	0.27	1.55	1.22	0.76
16:00 观察细胞总数(个)Observed number of cell	538	623	820	966	897	1 019	915	537	625	558
分裂中期细胞数(个)The number of metaphase cell	15	8	14	33	8	13	7	5	7	5
细胞分裂指数(%)Cell division index	2.79	1.28	1.71	3.42	0.89	1.28	0.77	0.93	1.12	0.90
18:00 观察细胞总数(个)Observed number of cell	804	641	666	655	938	924	912	539	600	924
分裂中期细胞数(个)The number of metaphase cell	6	6	13	20	21	10	3	5	8	8
细胞分裂指数(%)Cell division index	0.75	0.94	1.95	3.05	2.24	1.08	0.33	0.93	1.33	0.87

天)中每一时刻都存在细胞分裂,但各时间段细胞分裂指数不一样。一天中(白天)甘蔗茎尖细胞分裂指数呈规律性变化,除桂糖 11 号高峰期在 8:00 出现外,其余 5 个品种的高峰期均在 10:00 出现,12:00 是大多数供试甘蔗品种的细胞分裂低谷,14:00

后细胞分裂指数又缓慢回升。一天中(白天)同一品种不同时间段的细胞分裂指数差异显著。

表 4 数据是每个品种 5 个时期的平均值。表 4 的多重比较是根据品种、测定时期以及测定时间三因素的 SPSS 统计分析结果。

表 4 甘蔗茎尖细胞白天中不同时间的细胞分裂指数
Table 4 Cell division index of sugarcane stem apex at different time in a day

项目 Items	CP 80	桂糖 Guitang 11	新台 ROC 16	粤糖 Yuetaang 91/976	粤糖 Yuetaang 86/368	农林 Nonglin 8	平均 Average
8:00 观察细胞总数(个)Observed number of cell	3 003	3 850	5 589	4 725	4 364	4 486	4 336
分裂中期细胞数(个)The number of metaphase cell	42	85	59	56	131	33	68
细胞分裂指数(%)Cell division index	1.40b	2.21a	1.06b	1.19a	3.00b	0.74b	1.60b
10:00 观察细胞总数(个)Observed number of cell	3 426	3 879	5 250	4 027	3 777	4 390	4 125
分裂中期细胞数(个)The number of metaphase cell	56	77	74	47	120	44	70
细胞分裂指数(%)Cell division index	1.63a	1.99b	1.41a	1.17a	3.18a	1.00a	1.73a
12:00 观察细胞总数(个)Observed number of cell	3 422	4 073	4 962	4 411	4 005	4 911	4 297
分裂中期细胞数(个)The number of metaphase cell	32	64	24	44	83	31	46
细胞分裂指数(%)Cell division index	0.94d	1.57e	0.48e	1.00b	2.07c	0.63c	1.12d
14:00 观察细胞总数(个)Observed number of cell	3 348	4 083	5 300	4 213	4 352	4 556	4 309
分裂中期细胞数(个)The number of metaphase cell	30	67	38	44	81	27	48
细胞分裂指数(%)Cell division index	0.90d	1.64d	0.72d	1.04b	1.86d	0.59d	1.13d
16:00 观察细胞总数(个)Observed number of cell	3 654	4 086	4 718	4 675	3 844	4 700	4 280
分裂中期细胞数(个)The number of metaphase cell	37	70	45	47	78	30	51
细胞分裂指数(%)Cell division index	1.01c	1.71c	0.95c	1.01b	2.03c	0.64c	1.23c
18:00 观察细胞总数(个)Observed number of cell	3 899	4 193	4 792	4 334	3 704	4 738	4 277
分裂中期细胞数(个)The number of metaphase cell	34	73	49	42	66	31	49
细胞分裂指数(%)Cell division index	0.87d	1.74c	1.02c	0.97c	1.78e	0.65c	1.17c

注:表中具有相同字母(a~e)者表示差异不显著。下同 Note: a~e Means having the same letter in a row were not significantly different by post-hoc multiple comparison test, PB 0.05.

综合 6 个品种在一天中白天细胞分裂指数高低的比较顺序是:10:00>8:00>16:00>18:00>14:00>12:00,除了 12:00 和 14:00 两者之间未达到差异显著水平外,其它几个均达到差异显著水平。以上结果说明甘蔗茎尖细胞分裂有一个比较一致的规律,即是在 10:00 都有一个细胞分裂高峰期。

2.2 甘蔗在不同生长时期细胞分裂的节律

将每品种每个时期 6 个时间段细胞分裂指数平均值并根据 SPSS 分析结果进行多重比较制成表 5。

不同甘蔗品种细胞分裂高峰出现时期不一致,新台糖 16 号、农林 8 号在 6 月 9 日时细胞分裂指数最高,新台糖 16 号随着生长期延长而呈显著递减趋势,但是 7 月 11 日以后又有提高。CP80、桂糖 11 号在 6 月 30 日达到高峰,粤糖 91/976、粤糖 86/368 则在 7 月 11 日有一明显的高峰。同一品种在不同的生长时期细胞分裂指数差异达显著水平。

综合 6 个供试品种不同时期细胞分裂指数平均值,可知甘蔗在不同生长时期细胞分裂指数的高低顺序依次为:7 月 11 日>6 月 30 日>6 月 9 日>7 月 21 日>6 月 17 日,而且不同生长时期之间细胞分裂指数差异也显著。

2.3 甘蔗茎径与细胞分裂的关系

砍收时所测量各品种甘蔗茎径,将各品种 5 个

时期细胞分裂指数的平均值并根据 SPSS 进行相关性分析制成表 6。

甘蔗茎径大小有显著的基因型差异,以不同茎径基因型甘蔗茎尖细胞分裂指数平均值与甘蔗茎径进行 Pearson 相关分析,可知细胞分裂指数与茎径呈正相关趋势,相关系数 $r^2 = 0.793$ 。粤糖 86/368 茎径最大,其细胞分裂指数也是最高,相应,农林 8 号茎径最小,它的细胞分裂指数也是最小的。

3 讨 论

本研究表明一天中(白天)甘蔗时刻都进行细胞分裂,但不同时间分裂频率不一样,供试 6 个品种基本显示同一规律,即 10:00 是细胞分裂高峰期,12:00 是低谷,而 12:00 以后有提高,说明甘蔗茎尖的细胞分裂频率具有午休的现象,已经证明许多植物光合作用存在午休现象(董合忠等,2000;许大全,2002),但是对于茎尖生长点细胞分裂的午休尚未见有报道。为什么会这样呢,许多研究表明(许大全,2002),中午气温高而导致空气湿度下降,是光合作用中午降低的主要原因之一,低空气湿度是引起光合“午睡现象”的重要生态因子,过低的空气湿度会导致水分蒸腾过多,植株体内自由水含

量下降,也可以使得甘蔗体内代谢下降,也有研究表明,甘蔗生长最快的温度是 30 ℃,超过 34 ℃可能被抑制,而且甘蔗是喜光作物,光照充足,生长发育快(黄有总等,2001)。据气象部门记录,广西南宁 6~7 月份的气温在 8:00 尚未达到 30 ℃,而且光照也还不强。10:00 温度慢慢升高,光照加强,此时最适合甘蔗的生长发育,所以甘蔗生长速度就快,一般 12:00~14:00 广西南宁气温都高于 34 ℃,此时

甘蔗的生长有可能受到抑制,甘蔗生长受抑制可能是细胞分裂受到抑制的结果,我们的研究表明,甘蔗茎尖生长点细胞分裂频率的日变化可能是甘蔗生长受到温度调节的细胞学基础。

细胞的基因型决定分裂速度(AC 吉斯,1984),不同品种在不同的生长时期中细胞分裂频率不一样,这可能是与品种种性有关。新台 16 号、农林 8 号细胞分裂高峰期出现较早(6 月 9 日),这与黄有

表 5 甘蔗茎尖在不同时期的细胞分裂指数

Table 5 Cell division index of sugarcane stem apex at different growing stages

项目 Items	CP 80	桂糖 Guitang 11	新台 ROC 16	粤糖 Yuetang 91/976	粤糖 Yuetang 86/368	农林 Nonglin 8	平均 Average
6 月 9 日 观察细胞总数(个)Observed number of cell	4 649	4 907	6 636	5 673	5 127	6 756	5 625
分裂中期细胞数(个)The number of metaphase cell	53	82	56	62	118	58	71.5
细胞分裂指数(%)Cell division index	1.14c	1.67d	0.84c	1.09b	2.30b	0.86c	1.32c
6 月 17 日 观察细胞总数(个)Observed number of cell	4 398	4 872	5 896	5 209	4 450	5 427	5 042
分裂中期细胞数(个)The number of metaphase cell	37	76	49	24	52	51	48
细胞分裂指数(%)Cell division index	0.84e	1.56e	0.83c	0.46d	1.17d	0.94b	0.97d
6 月 30 日 观察细胞总数(个)Observed number of cell	3 550	4 862	6 124	5 338	4 361	5 146	4 897
分裂中期细胞数(个)The number of metaphase cell	49	105	61	59	90	46	68
细胞分裂指数(%)Cell division index	1.38a	2.16a	1.00b	1.11b	2.06b	0.89c	1.43 b
7 月 11 日 观察细胞总数(个)Observed number of cell	3 863	4 668	5 838	5 031	5 066	5 218	4 947
分裂中期细胞数(个)The number of metaphase cell	50	89	82	80	210	28	90
细胞分裂指数(%)Cell division index	1.29b	1.91b	1.40a	1.59a	4.15a	0.54d	1.81a
7 月 21 日 观察细胞总数(个)Observed number of cell	4 292	4 855	6 117	5 134	5 042	5 234	5 112
分裂中期细胞数(个)The number of metaphase cell	42	84	41	55	89	48	60
细胞分裂指数(%)Cell division index	0.98d	1.73c	0.67d	1.07c	1.77c	0.92a	1.19d

注:表注同表 4 The note in table 5 and table 4 is the same

表 6 不同品种甘蔗茎径和细胞分裂指数

Table 6 Stem diameter and cell division index of different sugarcane varieties

品种 Varieties	新台 ROC 16	粤糖 Yuetang 91/976	CP80	桂糖 Guitang 11	粤糖 Yuetang 86/368	农林 Nonglin 8
茎径(cm)Stem diameter	2.55 c	2.85 b	2.57 c	2.70 bc	3.14 a	2.15 d
细胞分裂指数(%)Cell division index	0.96 e	1.07 d	1.15 c	1.84 b	2.28 a	0.77 f

注:表注同表 4 The note in table 6 and table 4 is the same

总等(2001)观察出这两个品种前期生长快,后期生长慢,属于早熟品种相符。粤糖 91/976、桂糖 11 号、粤糖 86/368、CP80 细胞分裂高峰期稍往后推(6 月 30 日或 7 月 11 日)这也与黄有总等(2001)观察的结果;这四者都属于中、晚熟品种,前期生长快,后期生长慢相符。

茎尖细胞分裂指数与甘蔗茎径呈正相关,说明不同的甘蔗品种,生长在同样的条件下,具有不同的茎粗是有其细胞学基础的。因为细胞分裂是细胞生长的基础,而细胞生长的具体表现是细胞伸长、增粗,显然茎尖细胞分裂频率高,产生的新细胞多,茎

可能会长得高些、粗些。至于大茎种的茎尖分裂频率为什么高些,是否还有更深一层的原因,如茎尖内与蔗茎增粗有关的分生组织会不会多一些,有待研究。

综上所述,不同基因型甘蔗品种茎尖细胞分裂指数差异显著,而且也与生育期以及一天中(白天)不同时间密切相关,这不仅对于正确取材进行科学研究如甘蔗增粗机理的研究具有重要意义,而且,在实际生产上,我们也可以针对甘蔗细胞分裂高峰期出现的时间来指导农艺活动,促进甘蔗的生长发育,为提高甘蔗产量打下良好的基础。

(下转第 165 页 Continue on page 165)

更能准确反映水质污染程度。

参考文献:

- 李汉卿, 谢文焕, 傅纯彦, 等. 1985. 环境污染与生物[M]. 哈尔滨: 黑龙江科学技术出版社, 168
- 张志良. 1990. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 高等教育出版社, 154.
- 顾公望, 张宏伟. 1983. 微量元素与恶性肿瘤[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 199—205.
- Bradford MM. 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding[J]. *Anal Biochem*, **72**(1): 248—254.
- Chris B, Marc VH, Dirk I. 1992. Superoxide dismutase and stress tolerance[J]. *Annu Rev Plant Mol Biol*, **43**: 83.
- Heath RL, Parker L. 1968. Photoperoxidation in isolated chloroplasts I. Kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation[J]. *Arch Biochem Biophys*, **25**: 189—198.
- Kar RK, Chondhuri MA. 1987. Possible mechanisms of light-induced chlorophyll degradation in senescencing leaves of *Hydrilla verticillata*[J]. *Physiol Plant*, **70**: 729—734.
- Maehly AC. 1955. Plant peroxidase[J]. *Meth Enzym*, **2**: 801—813.
- Ren AZ(任安芝), Gao YB(高玉葆), Liu S(刘爽). 2000. Effects of Cr, Cd and Pb on free proline content etc in leaves of *Brassica chinensis*(铬、镉、铅胁迫对青菜叶片几种生理指标的影响)[J]. *Chin J Appl Environ Biol*(应用与环境生物学报), **6**(2): 112—116.
- Stobart AK, Griffiths WT, Ameen-Bukhari I, et al. 1985. The effect of Cd on the biosynthesis of chlorophyll in leaves of barley[J]. *Physiol Plant*, **63**: 293—298.
- Shi GX(施国新), Du KH(杜开和), Xie KB(解凯彬), et al. 2000. Ultrastructural study of leaf cells damaged from Hg²⁺ and Cd²⁺ pollution in *Hydrilla verticillata*(汞、镉污染对黑藻叶细胞伤害的超微结构研究)[J]. *Acta Botanica Sinica*(植物学报), **42**(4): 373—378.
- Van assche F, Clijsters H. 1990. Effects of metal on enzyme activity in plants[J]. *Plant Cell Environ*, **13**: 195—206.
- Wang WZ(王惟咨), He ZY(何增耀), Ye ZJ(叶兆杰). 1990. Effects of chromium on soil biochemical metabolism(铬对土壤生化代谢的影响)[J]. *China Environmental Science*(中国环境科学), **10**(6): 440—445.
- Wang AG(王爱国), Luo GH(罗广华). 1990. Quantitative relation between the reaction of hydroxylamine and superoxide anion radicals in plants(植物的超氧化物自由基与羟胺反应的定量关系)[J]. *Plant Physiology Communications*(植物生理学通讯), **26**(6): 55—57.
- Woolhouse HW. 1974. Longevity and senescence in plant[J]. *Sci Prog Oxford*, **61**: 23.
- Wang AG(王爱国), Shao CB(邵从本), Luo GH(罗广华). 1983. The comparison of several methods for determining the activity of superoxide dismutase(SOD)(几种检测超氧化物歧化酶活性反应的比较)[J]. *Plant Physiology Communications*(植物生理学通讯), **5**: 46—49.
- Wilson DO, McDonald NB. 1996. The lipid peroxidation metal of seed aging[J]. *Seed Sci Technol*, **14**: 269—282.
- Zhang YX(张义贤). 1997. A comparative study of the toxic effects of the trivalent and hexavalent chromium in *Hordeum vulgare*(三价铬和六价铬对大麦毒性效应的比较)[J]. *China Environmental Science*(中国环境科学), **17**(6): 565—567.

(上接第 192 页 Continue from page 192)

参考文献:

- 王鉴明. 1985. 中国甘蔗栽培学[M]. 北京: 农业出版社, 42—43.
- 许大全. 2002. 光合作用效率[M]. 上海: 上海科技出版社, 72—79.
- 张泽林. 1999. 细胞分裂相的决定因素——取材时间[J]. *生物学通报*, **34**(8): 22.
- 李懋学, 张学敦. 1991. 植物染色体研究技术[M]. 哈尔滨: 东北大学出版社, 26.
- 骆君骥. 1992. 甘蔗学[M]. 北京: 轻工业出版社, 68—76.
- 黄有总, 徐建云, 陈超君, 等. 2001. 几个甘蔗新品种的农艺性状比较研究[J]. *福建甘蔗*, (3): 8—13.
- 彭绍光. 1990. 甘蔗育种学[M]. 北京: 农业出版社, 110—116.
- 蔡程辉, 庄永龙. 2001. SPSS V 10.0 for window 实用基础教程[M]. 北京: 希望电子出版社, 98—106; 174—209.
- AC 吉斯. 1984. 细胞生理学[M]. 北京: 科学出版社, 576—578.
- AC 吉斯. 1984. 细胞生理学[M]. 北京: 科学出版社, 601—603.
- Dong HZ(董合忠), Li WJ(李维江), Tang W(唐薇), et al. 2000. Photosynthetic characters of field grown cotton leaves(大田棉长叶片叶光合特性的研究)[J]. *Shandong Agricultural Sciences*(山东农业科学), **6**: 7—9, 15.