

甘蔗低氮胁迫性状变化与蔗茎含氮量的研究

杨荣仲^{1,2}, 周会^{1,2}, 桂意云^{1,2}, 梁强^{1,2}, 贤武^{1,2}, 雷敬超^{1,2}, 李杨瑞^{1,2}

(1. 中国农业科学院甘蔗研究中心, 农业部广西甘蔗生物技术与遗传改良重点实验室, 广西南宁 530007; 2. 广西农业科学院甘蔗研究所, 广西甘蔗遗传改良重点实验室, 广西南宁 530007)

摘要 [目的] 为了解甘蔗低氮胁迫响应的性状变化特点, 确定低氮胁迫评价关键性状。[方法] 以来自 12 个国家和地区的 28 份甘蔗种质为材料, 开展低氮胁迫盆栽试验。[结果] 甘蔗低氮胁迫响应随性状、种质不同而异。根据低氮胁迫指数, 可将性状低氮胁迫响应分为低氮胁迫上升、低氮胁迫变化不明显、低氮胁迫下降不一致和低氮胁迫一致下降 4 类。种质聚类分类表明, 评价低氮胁迫最重要的性状是蔗产量低氮胁迫指数。蔗茎含氮量分析结果表明, 不同种质的含氮量存在较大差异, 且与蔗产量低氮胁迫指数、低氮胁迫的蔗产量和有效茎存在显著或极显著负相关。[结论] 蔗产量低氮胁迫指数是评价低氮胁迫最重要的性状。蔗茎含氮量越低, 甘蔗种的低氮适应潜力越好。

关键词 甘蔗; 低氮胁迫; 蔗茎含氮量

中图分类号 S566.1 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2013)02-00481-04

Response to Low Nitrogen Stress and Stalk Nitrogen Content of Sugarcane Germplasm

YANG Rong-zhong et al (Key Laboratory of Sugarcane Biotechnology and Genetic Improvement (Guangxi), Ministry of Agriculture, P. R. China, Sugarcane Research Center, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Nanning, Guangxi 530007)

Abstract [Objective] In order to understand the sugarcane traits response to low nitrogen stress and its variation among germplasm and make sure the key traits of evaluation for low nitrogen stress. [Method] A pot trail with low nitrogen stress was conducted by 28 accessions of sugarcane germplasm from 12 countries and areas. [Result] The response of sugarcane to low nitrogen stress was varying with the traits and germplasm. The sugarcane response of triats to low nitrogen stress could be divided into four types including low nitrogen stress increased, low nitrogen stress did not change significantly, low nitrogen stress decreased inconsistently and low nitrogen stress decreased consistently based on low nitrogen stress index. The clustering analysis of sugarcane germplasm suggested that low nitrogen stress index of cane yield was the first important. Sugarcane stalk nitrogen content was different among the germplasm and there was significant negative correlation between stalk nitrogen content and low nitrogen stress index of cane yield, cane yield and millable stalks under low nitrogen stress. [Conclusion] The cane yield index of low nitrogen stress is very important for the evaluation of low nitrogen stress. And the nitrogen content of stalk is the lower and the potential to adapt to low nitrogen stress is better for sugarcane germplasm.

Key words Sugarcane; Low nitrogen stress; Nitrogen content of stalk

植物生长发育需要多种营养元素, 其中氮素尤为重要。虽然甘蔗是 C_4 作物, 氮利用效率较高, 但是甘蔗生长周期长, 需要的氮仍然较多。在甘蔗生产中, 由于管理水平、气候条件、土壤质地等因素的影响, 不同国家的甘蔗氮利用效率存在较大的差异, 从巴西的 80 t/hm^2 蔗产量施用 $60 \sim 100 \text{ kg/hm}^2$ 氮^[1-2], 到澳大利亚的 85 t/hm^2 蔗产量施用 $150 \sim 200 \text{ kg/hm}^2$ 氮^[3-4], 再到国内的 65 t/hm^2 蔗产量施用 $250 \sim 300 \text{ kg/hm}^2$ 氮^[5-6]。已有的研究表明, 水稻、玉米、小麦等不同基因型间氮利用效率存在较大的差异^[7-10], 并且根据氮利用效率分为不同类型。基因型间氮利用效率差异与形态、氮吸收与分配、生理生化等因素有关。利用基因型间氮利用效率差异, 可选择氮利用效率高的作物品种, 达到减少氮肥施用量的目的^[11]。

研究表明, 甘蔗氮利用效率受到生态因素(如季节、降雨量、土壤特性)和农艺技术措施(如甘蔗品种、灌溉、氮的形态、施用时间和施用方法)等因素的影响^[12]; 不施氮或少施氮对甘蔗分蘖和有效茎的影响较大, 品种不同低氮胁迫响应不同^[6], 较强的低氮适应性与品种的根系分布较广和较高 NO_3^- 亲和力有关^[13], 进一步研究发现氮高效基因型有较高

的根系生物量和密集的细根、根表面积^[4]; 根据蔗茎产量效率指数, 可将甘蔗分为氮极高效基因型、氮高效基因型、氮低效基因型、氮极低效基因型^[14], 利用蔗茎产量效率指数和低氮胁迫指数可筛选低氮适应性较强的品种和种质^[14-15], 建议甘蔗育种不仅需要高氮条件选择高生物量基因型, 而且需在低氮条件下选择高生物量基因型^[16], 并获得低氮胁迫条件下高产甘蔗新品系和氮高效种质^[6, 13-17]。经过 20 多年研究, 结合品种与农艺技术措施, 氮的利用效率得到明显提高, 澳大利亚的施氮量呈现下降趋势^[18], 南非吨蔗需氮量从 1980 年的 2.00 kg 下降到了目前的 1.45 kg ^[12]。然而, 甘蔗氮高效利用研究特别是氮高效利用种质筛选与品种选育因试验周期长^[12-15]、缺少快捷高效的鉴定方法^[14-15]而受到制约。为了解甘蔗低氮胁迫响应的性状与种质变化特点, 明确甘蔗适应低氮胁迫的关键性状, 笔者开展了甘蔗种质低氮胁迫盆栽试验, 为甘蔗低氮胁迫研究与耐低氮胁迫品种选育和种质筛选提供依据。

1 材料与方法

1.1 材料 选用来自国内外 12 个不同育种机构 28 份甘蔗品种或地方品种为试验材料, 其中, 国外 12 份, 广西自育品种 9 份。

1.2 方法 参试种质的蔗种浸种消毒后, 种植于装有 20 kg 泥土($\text{pH } 5.6$, 有机质 29 g/kg , 全氮 1.2 g/kg , 速效氮 70 mg/kg , 速效磷 20 mg/kg , 速效钾 54 mg/kg)的塑料盆中。出

基金项目 甘蔗产业技术体系(CARS-20-1-3); 广西农业科学院基本科研业务费项目(G2009004)。

作者简介 杨荣仲(1963-), 男, 四川乐至人, 研究员, 博士, 硕士生导师, 从事甘蔗遗传育种方面的研究, E-mail: rozyang@126.com。

收稿日期 2012-11-19

苗后,每盆保留 2 株生长正常的甘蔗植株。低氮胁迫处理前将盆适当调节,使正常施氮与低氮胁迫处理的 2 盆甘蔗生长状况尽量一致,低氮胁迫处理与正常施氮的盆相间排列,重复 4 次。除低氮胁迫处理不施氮肥外,其他栽培管理与一般盆栽甘蔗试验相同。调查甘蔗分蘖、拔节初期的叶片长、叶片宽及叶面积、株高和光合作用相关参数,成熟期锤度、有效茎和光合作用相关参数,收获期的株高、茎径、单茎重、蔗产量等性状。种植甘蔗时,随机提取 10 个单芽种茎,采用凯氏定氮法测定蔗茎含氮量,重复 2 次。

低氮胁迫指数 = 100 × 不施 N 处理性状值 / 施 N 处理性状值

应用 Excel 软件和 DPS12. 50^[19] 进行数据处理和统计分析。数据分析若需正态分布则对百分率数据进行反正弦转换。

表 1 甘蔗种质低氮胁迫响应

指标	分蘖率	叶长	叶宽	叶面积	株高	拔节初期		
						光合速率(Pn)	气孔导度(Gs)	蒸腾强度(Tr)
低氮胁迫指数	56.00**	97.00*	79.00**	76.00**	103.00	75.00**	76.00**	79.00**
变异系数(CV) // %	35.57	9.14	13.31	16.50	9.68	27.07	32.28	26.75
升高/降低	0/28	7/21	2/26	1/27	17/11	2/26	5/23	5/23

指标	成熟期			株高	锤度	茎径	有效茎	单茎重	蔗产量
	光合速率(Pn)	气孔导度(Gs)	蒸腾强度(Tr)						
低氮胁迫指数	103.00	122.00*	118.00*	110.00**	104.00*	84.00**	66.00**	78.00**	51.00**
变异系数(CV) // %	17.36	24.90	19.70	5.41	7.31	9.77	23.13	21.03	30.36
升高/降低	14/14	23/5	24/4	27/1	19/9	1/27	0/28	3/25	0/28

注: *、** 分别表示低氮胁迫的性状值上升或下降达到 0.05、0.01 显著水平。

事实上,低氮胁迫指数在参试种质间的变化并非完全一致升高或降低,仅有分蘖率、有效茎和蔗产量 3 个性状在所有种质间表现为一致下降,而其他性状均存在升高和降低同时出现的现象。在低氮胁迫指数下降的性状中,上升的种质数少于 4 个的性状有叶宽、叶面积、拔节初期光合速率、茎径和单茎重等。在低氮胁迫升高的性状中,也存在部分种质低氮胁迫指数下降的现象,如成熟期气孔导度、成熟期蒸腾强度和锤度,而成熟期株高则几乎全部升高。

根据性状低氮胁迫指数,采用欧氏距离类平均法(UPGMA)可将性状低氮胁迫响应分为 4 类(图 1)。第Ⅰ类由低氮

2 结果与分析

2.1 性状低氮胁迫响应 由表 1 可知,性状的低氮胁迫指数在 51~122 之间,最低的为蔗产量,最高的为成熟期气孔导度。根据性状低氮胁迫指数和 t 测验结果,可将性状的低氮胁迫响应初步分为低氮胁迫影响较小、低氮胁迫升高和低氮胁迫降低 3 类。低氮胁迫影响较小,表示低氮胁迫后性状上升或下降未达到显著水平,其低氮胁迫指数在 100 左右,如拔节初期株高、成熟期光合速率等;低氮胁迫升高,表示低氮胁迫后性状升高达到显著或极显著水平,低氮胁迫指数大于 100,如成熟期气孔导度、成熟期蒸腾强度、成熟期株高和锤度等;低氮胁迫降低,表示低氮胁迫后性状下降达到显著或极显著水平,低氮胁迫指数小于 100,调查性状中大多数性状属于这类,如分蘖率、茎径、有效茎、单茎重、蔗产量和拔节初期光合参数等。

胁迫上升最多的 2 个性状构成,称为低氮胁迫明显上升类;第Ⅱ则由低氮胁迫影响较小、低氮胁迫上升或下降均较小的 5 个性状构成,称为低氮胁迫变化不明显类;第Ⅲ类由 7 个性状组成,这些性状的低氮胁迫指数下降明显,但存在部分种质的低氮胁迫指数上升,称为低氮胁迫下降不一致类;第Ⅳ类由 3 个低氮胁迫指数一致下降的性状组成,称为低氮胁迫下降一致类。4 类性状可进一步合并为 2 类,即低氮胁迫下降、低氮胁迫影响较小与低氮胁迫上升类。显然甘蔗种质低氮胁迫评价,选择低氮胁迫一致下降类的性状更为合理。

2.2 不同种质低氮胁迫响应 表 2 列出了所有参试种质低氮胁迫一致下降 3 个性状的低氮胁迫指数。从分蘖率看,低胁迫指数在 26~100 之间,表现较差、低氮胁迫指数低于 40 有 CP28-11、PT43-52、桂 83-492 等 7 份材料,表现较好、低氮胁迫指数高于 60 有 ROC22、桂 86-267、Co281、B8 等 10 份材料。有效茎的低氮胁迫指数在 33~100 之间,平均低氮胁迫指数高于分蘖率,表明甘蔗有效茎的低氮胁迫的响应程度不及甘蔗分蘖率;表现较差、低氮胁迫指数低于 40 的仅有 Q75、Neo310 等 3 份材料,而表现较好、低氮胁迫指数高于 60 的有 19 份材料,其中 PT43-52、崖 58-47、桂 64-104、Co281 的低氮胁迫指数在 80 以上。蔗产量是低氮胁迫响应程度最高的性状,低胁迫指数为 22~92;最高的崖 58-47 高达 92,最低的 Q75 低至 22;表现较差、低氮胁迫指数指数低于 40 有 POJ2878、桂 86-267、Co617 等 7 份材料,表现较好、低氮胁迫指数高于 60 的有 CP28-11、Co281、桂 84-332 等 6 份材料。

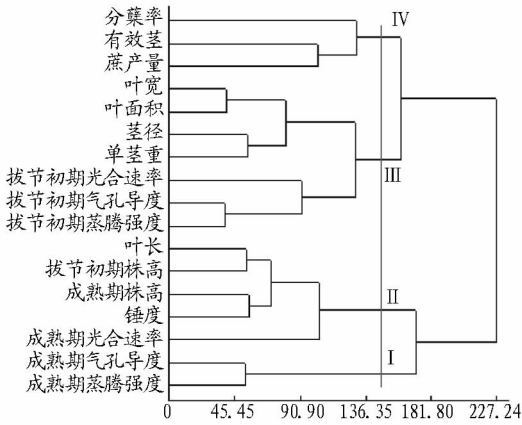


图 1 性状低氮胁迫指数聚类分类

表 2 部分性状低氮胁迫指数与蔗茎含氮量

材料	分蘖率	有效茎	蔗产量	蔗茎含氮量//%	材料	分蘖率	有效茎	蔗产量	蔗茎含氮量//%
B1	39	53	45	0.429 8	ROC22	61	63	58	0.527 5
B8	68	83	57	0.421 4	菲 63-17	41	55	44	0.552 3
Co281	66	89	65	0.465 2	桂 83-492	36	67	57	0.657 6
Co617	57	57	36	0.445 1	桂 84-332	36	56	65	0.405 9
Co740	59	63	47	0.347 6	桂 86-267	61	44	35	0.501 0
CP28-11	26	67	62	0.635 0	桂 89-5	74	63	34	1.078 8
CP49-50	46	70	59	0.567 4	桂 90-95	38	75	77	0.373 1
CP81-1254	58	73	46	0.428 7	桂 93-102	100	63	51	0.383 1
F108	53	60	54	0.458 1	桂 64-104	60	100	74	0.306 3
Nco310	54	43	33	0.545 3	桂 64-73	55	70	45	0.585 7
POJ2878	38	67	36	0.697 2	桂 69-156	42	55	42	0.528 3
PT43-52	34	88	33	0.433 2	洛古蔗	84	73	55	0.445 5
Q75	42	33	22	0.569 9	崖 58-47	84	88	92	0.269 1
ROC1	94	50	41	0.585 3	粤 86-368	57	75	59	0.514 5

利用性状低氮胁迫指数,采用马氏距离类平均法(UPG-MA)聚类,可将参试种质分为5类(图2)。崖成 58-47 因其蔗产量的低氮胁迫指数特别高而自成一类;第Ⅱ类由蔗产量低氮胁迫指数较低的2份种质构成;第Ⅲ类由5份种质构成,蔗产量低氮胁迫指数仅高于第Ⅱ类,为次低类;第Ⅳ类由5份种质构成,其蔗产量氮胁迫指数仅低于第Ⅰ类,为次高类;第Ⅴ类的种质数最多,达15份,蔗产量低氮胁迫指数位5类的中间,为中间类。实际上,聚类分类时不同类间仅有蔗产量低氮胁迫指数达到显著或极显著水平,其他性状则不存在显著差异,表明甘蔗低氮胁迫评价时,最重要的评价指标仍是蔗产量低氮胁迫指数。

含氮量也存在较大差异,如广西的自育品种桂 64-104 与桂 89-5 的蔗茎含氮量相差 2.5 倍,来自美国的 CP81-1254 与 CP28-11 相差 0.48 倍,来自印度的 Co740 与 Co281 相差 0.34 倍。

蔗茎含氮量与性状低氮胁迫指数相关分析表明,蔗茎含氮量与蔗产量低氮胁迫指数存在极显著负相关($r = -0.5171, P = 0.0048$),与有效茎低氮胁迫指数的负相关接近显著水平($r = -0.3715, P = 0.05157$),与其他性状的低氮胁迫指数不存在显著相关,表明蔗茎含氮量越低,其低氮胁迫指数越高,具有耐低氮胁迫的潜力越好。进一步分析蔗茎含氮量与正常施氮、低氮胁迫性状的相关数据,发现蔗茎含氮量与所有正常施性状不存在显著相关,与低氮胁迫下的蔗产量、有效茎存在显著负相关($r = -0.4299、-0.3863, P = 0.0224、0.0423$),与茎径的负相关接近显著($r = -0.3645, P = 0.0565$),表明蔗茎含氮量对低氮胁迫下部分产量构成因素、蔗产量有较明显的影响。

3 结论与讨论

研究表明,甘蔗低氮胁迫响应随性状、种质不同而异。从低氮胁迫指数看,蔗产量是低氮胁迫响应程度最高的性状,所有参试种质都明显下降。不同种质间蔗茎含氮量不同,且与蔗产量低氮胁迫指数、低氮胁迫下的部分蔗产量构成因素与蔗产量呈显著或极显著负相关,表明蔗茎含氮量越低,甘蔗种的低氮适应潜力越好。研究中某些性状如蔗茎大小、单茎重种质间存在低氮胁迫响应变化不一致的现象。这可能是在甘蔗产量形成过程中中性状补偿的结果,也可能是由在试验过程的偶然影响所致。已有研究表明,甘蔗品种间的叶片含氮量存在显著差异^[20-21],筛选叶片含氮量高的品种将利于提高氮利用效率^[21];然而,蔗茎含氮量与此不同,提高蔗茎含氮将不利于提高其低氮适应能力。实际上,甘蔗与其他禾本科作物不同,降低蔗茎含氮量并不影响糖料蔗的收获品质。因此,在甘蔗育种过程中,通过选择高生物量、蔗茎低含氮量的品种来提高氮利用效率应该是可行的。

虽然蔗茎含氮量与蔗产量低氮胁迫指数、低氮胁迫下蔗

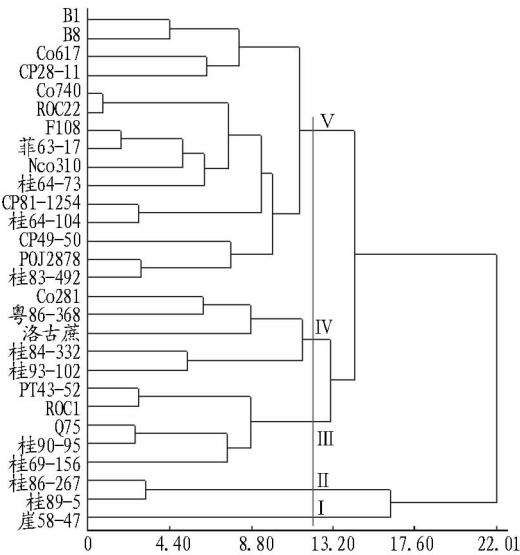


图 2 种质聚类分类结果

2.3 低氮胁迫指数与蔗茎含氮量 由表 2 可知,不同种质蔗茎含氮量(干重)间存在的差异较大。含氮量低于 0.4% 的有崖 58-47、桂 64-104 等 5 份种质;高于 0.6% 的有桂 89-5、POJ2878 等 4 份种质;含氮量最低的崖 58-47 与含氮量最高的桂 89-5 相差近 3 倍。即使来自同一育种机构,不同种质的

产量和有效茎存在显著或极显著负相关,然而相关系数不高。这一方面表明降低蔗茎含氮量,减少了甘蔗生长发育过程中所需的氮素,提高了低氮胁迫适应能力;另一方面,在甘蔗生长发育过程中,有可能通过其他途径如生物固氮、高效吸收土壤中的氮等获得所需的氮素^[1,13,21]。事实上,Franco 等也证实在甘蔗收获新植蔗中只有 10% 的氮来自于施肥,宿根蔗有 30% 来自于施肥,70% 以上的氮素来自非施肥途径^[2]。因此,蔗茎含氮量与蔗产量低氮胁迫指数、低氮胁迫下蔗产量等性状的相关系数不同。

参考文献

- [1] LEE T S G. Sugarcane Industry in Brazil [M]//LI Y R, SOLOMON S. Proceeding of the International Symposium on Sustainable Sugarcane and Sugar Production Technology. Beijing: China Agriculture Press, 2004: 29–30.
- [2] FRANCO H C J, OTTO R, FARONI C E, et al. Nitrogen in sugarcane derived from fertilizer under Brazilian field conditions [J]. Field Crops Research, 2011, 121(1): 29–41.
- [3] MAGAREY R C. Development of The Australian Sugar Industry: 1970–2000 [M]//LI Y R, SOLOMON S. Proceeding of the International Symposium on Sustainable Sugarcane and Sugar Production Technology. Beijing: China Agriculture Press, 2004: 84–88.
- [4] ROBINSON N, GAMAGE H, WHAN A, et al. Evidence of differences in nitrogen use efficiency in sugarcane genotypes [C]// Proceedings of the 2009 Conference of the Australian Society of Sugar Cane Technologists held at Ballina. New South Wales, Australia, 2009: 256–264.
- [5] 廖明坛, 陈克文. 供产水平对甘蔗生产和产量的影响 [J]. 福建农业大学学报, 1995, 24(2): 195–200.
- [6] 王伦旺, 李杨瑞, 杨荣仲, 等. 不同甘蔗基因型对低氮胁迫的响应 [J]. 西南农业学报, 2010, 23(2): 208–211.
- [7] 单玉华, 王余龙, 山本由德, 等. 不同类型水稻在氮素吸收及利用上的差异 [J]. 扬州大学学报: 自然科学版, 2001(3): 42–45.
- [8] 周联东, 员海燕, 李得孝, 等. 玉米氮营养效率基因型差异研究 [J]. 西北农业学报, 2003, 12(1): 21–24.
- [9] 李淑文. 不同氮效率小麦品种氮吸收利用的生物学特性研究 [D]. 保定: 河北农业大学, 2004.
- [10] 吴魁斌, 沈国清. 对大豆氮素利用率及体内分配规律的研究 [J]. 现代化农业, 1998, 233(12): 9–10.
- [11] 向阳春. 玉米氮效率基因差异的筛选基础及鉴定性状的分析 [D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2003.
- [12] MEYER J H, SCHUMANN A W, WOOD R A, et al. Recent advances to improve nitrogen use efficiency of sugarcane in the south African sugar industry [C]//XXVI Congress, International Society of Sugar Cane Technologists. Durban, South Africa, ICC: 2007: 238–246.
- [13] SUBASINGHE R. Effect of nitrogen and potassium stress and cultivar differences on potassium ions and nitrate uptake in sugarcane [J]. Journal of Plant Nutrition, 2006, 29(5): 809–825.
- [14] VIJAY KUMAR DANG Y P, JAWAHAR SINGH MEHLA A S, DHAWAN A K. Identification of N efficient genotypes of sugarcane on the basis of cane and sugar yield efficiency index [J]. Sugar Cane International, 2006, 24(4): 8–12.
- [15] 杨荣仲, 谭裕模, 王伦旺, 等. 甘蔗低氮胁迫评价 [J]. 西南农业学报, 2006, 19(6): 1132–1138.
- [16] ROBINSON N, FLETCHER A, WHAN A, et al. Sugarcane genotypes differ in internal nitrogen use efficiency [J]. Functional Plant Biology, 2007, 34(12): 1122–1129.
- [17] 李翔, 王伦旺, 方锋学, 等. 低氮胁迫对不同甘蔗基因型的影响初报 [J]. 中国农学通报, 2011, 27(4): 208–211.
- [18] WOOD A W, SCHROEDER B L, DWYER R. Opportunities for improving the efficiency of use of nitrogen fertiliser in the Australian sugar industry [C]//Proceedings of the 2010 Conference of the Australian Society of Sugar Cane Technologists. Bundaberg, Queensland, Australia: Australian Society of Sugar Cane Technologists, 2010: 221–233.
- [19] 唐启义, 冯明光. DPS 数据处理系统 [M]. 北京: 科学出版社, 2006.
- [20] RANJITH S A, MEINZER F C. Physiological correlates of variation in nitrogen-use efficiency in two contrasting sugarcane cultivars [J]. Crop Science, 1997, 37: 818–825.
- [21] 杨荣仲, 谭裕模, 桂意云, 等. ¹⁵N 测定甘蔗生物固氮能力研究 [J]. 安徽农业科学, 2008, 36(24): 10405–10406.

(上接第 480 页)

了,整个画面就精彩、丰富。因此,图件制作中必须认真对待每个局部细节的处理,并要求局部的绘制要统一于整体画面。

5 生物制图学科发展的思考

5.1 坚持现代制图的科技理念 现代科技高速发展,制图方式多种多样,不论何种制图方法都要注重制图效果。不论何种制图方法,只要科学、便捷、经济,制图效果清晰,就能满足实际工作的需求,就是好的制图技术。惟其难,才会有高起点;惟其艰,才会有大成就^[9]。只有掌握一流的制图技术,才能得到一流的制图效果。

5.2 坚持传统制图技术与现代科技制图技术相结合 传统制图中有许多制图方法与手段并不过时。它同现代科学技术相结合能制作出更有价值的生物图谱。一个时代,一种技术,就可能出现一些技术性的产物,而这样就会有依附于技术性产物的各种新的客观存在(图像)^[10]。构图往往是一幅生物图谱的生命。传统制图中对构图的要求和把握相当重视。好的构图能使生物图谱布局合理,中心明确,主题突出,详略得当,视觉效果理想,展示内容清晰。如果制图中能运用现代数码影像技术去捕捉住所要图示对象的细节和局部,

高清晰、真实地反映你所要表达的图示对象,必将非常完美地制作出当代的生物图谱。

5.3 引进 3D 成像技术和动漫技术 现代制图技术不仅有立体成像制图,而且出现新的动漫产业。所有这些更新了传统的制图理念。传统制图能描绘出一株水稻的发芽期、长叶期、抽穗期、穗熟期等生长时期的图形和形态,但无法观察到联接这几个时期的生长时段。3D 的成像可以弥补这一不足,让科研人员更加细致、完整地研究整个生长过程,并可以随意选择某一成长期进行研究。因此,今后的生物制图技术的发展将会伴随着数字成像技术进入一个新的阶段。

参考文献

- [1] 罗伯特·贝弗利·黑尔. 向大师学绘画素描基础 [M] 朱岩, 译. 北京: 中国青年出版社, 1998.
- [2] 梁玖. 艺术概论 [M]. 重庆: 西南师范大学出版社, 1995.
- [3] 岳洁琼. 杜键其人——采访手记 [J]. 美术大观, 2012(10): 18.
- [4] 李遂. 大象有形 [J]. 美苑, 2012, 176(4): 36.
- [5] 董萍实. 董萍实新书写 [M]. 长春: 吉林美术出版社, 2012.
- [6] 孙建平. 现代素描肖像 [M]. 天津: 天津美术出版社, 1993.
- [7] 殷光宇. 透视 [M]. 杭州: 中国美术学院出版社, 1999.
- [8] 李琦. 摄影构图浅探 [J]. 中国美术教育, 2012(5): 16.
- [9] 李宝峰. 雪域阳光铸画魂 [J]. 美术界, 2012, 296(10): 19–23.
- [10] 游江. 图像转向与社会主义视觉经验——从“再历史—中国当代艺术邀请展”谈起 [J]. 艺术生活, 2012(4): 9–11.