

DOI: 10.3724/SP.J.1006.2009.01900

不同库容量类型籼稻品种源库相关参数的基本特点

董桂春¹ 田昊¹ 张彪² 李进前¹ 于小凤¹ 王余龙^{1,*}

¹ 扬州大学江苏省作物遗传生理重点实验室 / 农业部长江中下游作物生理生态与栽培重点开放实验室, 江苏扬州 225009; ² 扬州大学生物科学与技术学院, 江苏扬州 225009

摘要: 在群体水培条件下, 以国内、外不同年代育成的常规籼稻代表品种(2001 年为 88 个、2002 年为 122 个)为材料, 测定叶面积、干物质重(包括根系)、产量及其构成因素、氮素含量等, 采用组内最小平方和的动态聚类方法将供试品种按库容量从低到高依次分为 A、B、C、D、E、F 6 类, 研究各类品种源、库主要性状的基本特点。结果表明: (1)供试品种间库容量的差异很大(426%和 817%)。A、B、C、D、E、F 类品种的平均库容量, 2001 年分别为 426.37、642.53、770.96、903.73、1 064.32、1 213.90 g m⁻², 2002 年分别为 359.36、574.11、764.98、962.43、1 200.11、1 455.59 g m⁻²; (2)大库容量品种全生育期天数、每日形成的库容量较大, 库容量显著受到全生育期天数、每日形成库容量的影响, 后者对库容量的作用大于前者对库容量的作用; (3)大库容量类型品种抽穗期叶面积、成熟期叶面积、抽穗期绿叶重、成熟期绿叶重、比叶重较大, 但结实期叶面积下降比例小; (4)大库容量类型品种结实期净同化率、单位叶面积籽粒产量、单位叶面积库容量、单位干物质库容量、单位氮素库容量大于小库容量类型品种; (5)多元逐步回归分析表明, 抽穗期绿叶重、单位叶面积库容量、单位氮素库容量、单位干物质库容量、净同化率、比叶重是影响库容量的主要源库性状($R^2=0.953\sim0.963$)。通径分析表明, 抽穗期绿叶重、单位叶面积库容量对库容量的作用要显著大于单位氮素库容量、单位干物质库容量、净同化率、比叶重等对库容量的作用。

关键词: 常规籼稻; 库容量; 源; 库; 源库关系

Characteristics of Source-Sink Related Parameters in Conventional *Indica* Rice Cultivars with Different Types of Sink Potential

DONG Gui-Chun¹, TIAN Hao¹, ZHANG Biao², LI Jin-Qian¹, YU Xiao-Feng¹, and WANG Yu-Long^{1,*}

¹ Key Laboratory of Crop Genetics and Physiology of Jiangsu Province / Key Laboratory of Crop Physiology, Ecology and Cultivation in Middle and Lower Reaches of Yangtze River of Ministry of Agriculture, Yangzhou University; ² College of Bioscience and Biotechnology, Yangzhou University, Yangzhou 225009, China

Abstract: Eighty-eight and one hundred and twenty-two conventional *indica* rice cultivars were solution-cultured in 2001 and 2002, respectively. Leaf area index (LAI), dry matter weight (including root, culm and sheath, leaves, panicle), nitrogen content in different organs, yield and its components were measured respectively. The tested rice cultivars were classified into 6 types (i.e. A, B, C, D, E and F, A was the lowest, and F was the highest) based on their sink potential level by the MinSSw method, to study their difference in source and sink. Results were as follows: (1) Difference in sink potential (SP) of the cultivars used in this study was very large, the averages of SP in types of A, B, C, D, E, F were 426.37, 642.53, 770.96, 903.73, 1 064.32, 1 213.90 g m⁻² in 2001, and 359.36, 574.11, 764.98, 962.43, 1 200.11, 1 455.59 g m⁻² in 2002, respectively. (2) SP was significantly influenced by growth duration and SP per day, and the effect of SP per day on SP was more important than that of growth duration. (3) LAI at heading and maturing stage, green leaf weight at heading and maturing stage, leaf weight per unit leaf area in large SP type of *indica* rice were higher than those in small SP type, while the decline proportion of LAI during grain filling period. (4) Varieties with large SP showed higher net assimilation rate and higher values in grain yield per unit leaf area, SP per unit leaf area, SP per unit dry matter weight and SP per unit N at heading stage. (5) Multiple stepwise regression analysis indicated that SP was significantly influenced by green leaf weight at heading stage, SP per unit leaf area, SP per unit N, SP per unit dry matter weight, net assimilation rate during grain filling period and leaf weight per unit leaf area, with the determination coefficient ranging from 0.953 to

本研究由国家自然科学基金项目(30971278 和 30771275), 江苏省高校自然科学重大基础研究项目(09KJA210001), 扬州大学高层次人才科研启动基金, 扬州大学科技创新培育基金资助。

* 通讯作者(Corresponding author): 王余龙, E-mail: ylwang@yzu.edu.cn

Received(收稿日期): 2009-03-20; Accepted(接受日期): 2009-06-25.

0.963. Path analysis showed that effects of green leaf weight at heading stage and SP per unit leaf area on SP were larger than those of SP per unit N, and SP per unit dry matter weight, net assimilation rate during grain filling period, and leaf weight per unit leaf area.

Keywords: Conventional *indica* rice; Sink potential; Source; Sink; Source-sink relation

扩大库容量是提高水稻单产的重要途径,也是遗传改良的主要方向和栽培调节的重点^[1-4]。在源库平衡发展的基础上,库大、源足、流强是充分发挥大库容量品种产量潜力的必由之路。一般描述源库指标时,源主要用叶面积来表示,库主要用单位面积库容量来表示^[3,5]。随着研究深入,一些学者认为叶面积大小既受制于群体的规模,也受到自身特性如叶片重和比叶重的影响^[6-7],而库容量除与颖花数、粒重直接相关外,还受到单位叶面积库容量、单位干物质库容量、单位氮素库容量的影响^[8-13]。前人关于水稻源库特性的报道以栽培试验居多,品种试验较少。品种试验中有籼稻与粳稻比较,有常规稻与杂交稻比较,但总的来说品种规模较小,多数是对极端类型的个别品种进行比较,反映的是 1 个或几个品种的特性,且不清楚不同库容量类型品种的源特性(如 LAI 大小、绿叶重、比叶重)、库特性或库源比(单位叶面积库容量、单位干物质库容量、单位氮素库容量、单位叶面积籽粒产量)的演变趋势及其对库容量的综合影响。为此,本研究用 88~122 个常规籼稻品种(品系),测定其产量构成因素、源库、物质生产与分配、氮素含量等性状,并采用聚类分析的方法研究不同库容量类型籼稻品种源库性状的特征,为大库容量品种遗传改良及从栽培角度调控库容提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 供试品种(系)

2001 年选用 88 个常规籼稻品种(系),其中我国不同年代、不同产地育成的代表品种(系) 63 个,外国育成的代表品种(系) 25 个。为了进一步增加品种的代表性,2002 年又增加了 34 个品种(系),合计 122 个常规籼稻品种(系)。其中我国不同年代育成的不同产地的代表品种(系) 92 个,外国育成的代表品种(系) 30 个(表 1)。

1.2 材料培养

于扬州大学农学院水稻网室进行群体水培。水培池长 880 cm、宽 130 cm、深 50 cm,固定稻株的水泥板长 135 cm、宽 16.67 cm、厚 2.5 cm,每板设 14 个定植孔,孔径 4.0 cm,间距 10 cm。大田育秧,5

月 10 日播种,6 月 10 日移栽。选取均匀一致的秧苗,每定植孔移栽 1 苗,用软木塞和海绵固定,每个品种种植 56 株(2 个重复,每重复 28 株)。营养液由 Epsino 营养液和 Arnon 微量元素营养液混合而成,供氮浓度为 10 mg kg^{-1} (其他成分浓度不变),每 10 日换液 1 次,若遇大雨,翌日增换 1 次。每日用稀硫酸调节营养液 pH 值,使其保持在 5.5~6.5 之间。用泵保持移栽至成熟期营养液的持续流动,使各水培池中的养分浓度和 pH 等条件保持一致,并起到增氧作用。适期防治病虫害,使水稻生长正常。

1.3 测定内容与方法

1.3.1 叶面积系数和干物重的测定 抽穗期和成熟期每品种调查 30 穴植株的穗数,取其中代表性植株 10 穴(2 个重复,每重复 5 穴),用叶面积仪测定植株的叶面积,并按根、茎鞘、绿叶、黄叶、穗器官分样,105 杀青 30 min、80 烘干至恒重(一般为 72 h)后测定不同器官的干物重。

1.3.2 库容量和产量的测定 成熟期每品种调查 30 穴植株的穗数,取其中代表性植株 10 穴(2 个重复,每重复 5 穴),测定每穗颖花数、饱粒率(水漂法,沉入水底者为饱粒)、饱粒干粒重。

1.3.3 氮素含量的测定 将抽穗期和成熟期的样品粉碎,用 $\text{H}_2\text{SO}_4\text{-H}_2\text{O}_2$ 消化,半微量蒸馏法测定根、茎鞘、绿叶、黄叶、穗的全氮含量。

1.4 数据计算和统计分析

库容量 = 单位面积穗数 × 每穗粒数 × 饱粒干粒重,单位叶面积库容量 = 库容量 / 抽穗期叶面积,单位干物质库容量 = 库容量 / 抽穗期干物质积累量,单位氮素库容量 = 库容量 / 抽穗期氮素积累量。采用扬州大学农学院顾世梁教授提供的组内最小平方和的动态聚类方法分别将 2001、2002 年供试品种按库容量由低到高依次分为 A、B、C、D、E、F 6 种类型,该聚类分析方法可实现分析数据的全局最优化^[14];以 Microsoft Excel 进行数据处理和图表绘制;用 SPSS 统计软件进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 供试籼稻品种库容量的聚类分析结果

2001 年 88 个品种库容量的变幅为 300.93~

1 283.28 g m⁻², 相差 426.4%, 2002 年 122 个品种库容量变幅为 212.2~1 734.79 g m⁻², 相差 817.6%。A、B、C、D、E、F 类品种的平均库容量 2001 年分别为 426.37、642.53、770.96、903.73、1 064.32、1 213.90 g m⁻², 其品种数分别为 13、26、17、13、14、5 个, 类型间的差异达极显著水平(表 2); 2002 年分别为 359.36、574.11、764.98、962.43、1 200.11、1 455.59 g m⁻², 其品种数分别为 9、27、26、34、13、13 个, 类型间的差异达极显著水平(表 2)。

由上说明, 供试品种的库容量差异较大, 供试材料代表性强。不同库容量类型品种平均库容量差异较大, 大库容量品种的平均库容量较高, 小库容量品种平均库容量较低。

2.2 不同库容量类型籼稻品种叶面积系数及叶面积构成因子的差异

2.2.1 叶面积系数的差异

由表 3 可知, 各类品种的抽穗期平均叶面积系数, 总体随品种库容的增

大而显著增加, 类型间的差异均达极显著水平, 2001 年 D、E、F 类品种显著大于 A 类品种, 2002 年 E、F 类品种显著大于 A、B、C、D 类品种, C、D 类品种显著大于 A 类品种。各类品种的成熟期平均叶面积系数, 总体随品种库容的增大而显著增大, 类型间的差异均达极显著水平, 2001 年 B、C、D、E、F 类品种显著大于 A 类品种, 2002 年 E、F 类品种显著大于 A、B、C、D 类品种, B、C、D 类品种显著大于 A 类品种。相关分析表明, 库容量与抽穗期叶面积系数($r_{2001}=0.495^{**}$, $r_{2002}=0.575^{**}$)、成熟期叶面积系数($r_{2001}=0.377^{**}$, $r_{2002}=0.636^{**}$)均呈极显著正相关, 与叶面积系数下降比例相关不显著或呈极显著负相关($r_{2001}=0.046$, $r_{2002}=-0.325^{**}$)。

由上说明, 不同库容量类型品种间抽穗期叶面积系数、成熟期叶面积系数差异较大, 大库容量类型品种抽穗期叶面积系数、成熟期叶面积系数显著大于小库容量类型品种, 大库容量类型品种结实期

表 1 供试品种
Table 1 Conventional indica rice cultivars used in this study

试验年份 Experiment year	中国品种 Cultivar from China	外国品种 Cultivar from foreign countries
2001, 2002	矮仔占, 白叶籼, 对子籼, 广场矮, 黄瓜籼, 马尾占, 冒子头, 南京 6 号, 南特号, 台中本地 1 号, 天鹅谷, 盐城青芒子, 银条籼, 南京 11, 台中籼, 珍珠矮, V20B, 桂朝 2 号, 窄叶青 8 号, 6078, II-32B, CP211, D297B, 佛山大占, 龙特甫 B, 明恢 75, 明恢 78, 南农籼 2 号, 培矮 64, 苏农 3037, 特青, 特三矮, 协青早 B, 扬稻 1 号, 扬稻 2 号, 扬稻 3 号, 扬稻 4 号, 遗传稻 1 号, 扬稻 5 号, 早献党, 1826, E32, K17B, N45, R3550, R507, 丰矮占 1 号, 华粳籼 187, 绿黄占, 明恢 81, 茉莉占, 七香占, 清芦占 11, 蜀恢 881, 新世软占, 盐恢 559, 扬稻 6 号, 扬稻 8 号, 扬恢 136, 粤香占, 中 413, 紫 100, 粤 B	泰国香陆稻, BlueBell, CPSL017, JAYA, BG90-2, IR24, IR36, 水原 232, 水原 258, 来敬, 密阳 23, 密阳 42, 密阳 56, 密阳 65, 巴西陆稻, Bellemont, Aus373, Lemont, Dular, Gulfmont, IR1529, IR74, IR59634-33-2, J-85, Cprs
2002	包泰矮, 南京 1 号, 珍汕 97B, 滇瑞 313, 新桂矮, 恩恢 58, 明恢 70, 明恢 63, 皖恢 57, 武进香籼, 香籼 164, 扬辐糯 1 号, 扬辐糯 2 号, 成龙水晶米, 农香 10 号, 奇妙香, 苏农 3038, 四川多系 1 号, 香宝 3 号, 兴华长穗 1 号, 扬辐糯 4 号, 岳晚籼 3 号, 优米 2 号, 浙优 15, 浙早籼 10 号, 镇籼 122, 中六 7 号, 中香 1 号, 胜优 2 号	密阳 59, Newrex, Della, IR8, Bellepatna

表 2 不同库容量类型籼稻品种库容量的差异
Table 2 Difference of sink potential between different sink-potential types of indica rice

类型 Type	品种数 Number of cultivars		库容量 Sink potential (g m ⁻²)		典型代表品种 Representative cultivars
	2001	2002	2001	2002	
A	13	9	426.37±18.21 f	359.36±24.15 f	台中籼, Bluebell
B	26	27	642.53±7.89 e	574.11±10.02 e	台中本地 1 号, 广场矮
C	17	26	770.96±5.15 d	764.98±8.77 d	清芦占 11, 丰矮占 1 号
D	13	34	903.73±11.68 c	962.43±9.50 c	银条籼, 南京 11
E	14	13	1064.32±10.96 b	1200.11±18.79 b	扬稻 6 号, 蜀恢 881
F	5	13	1213.90±233.86 a	1455.59±33.36 a	1826, 6078
F-value			469.127**	525.981**	

LSD 法, 字母相同者差异不显著, 字母不同者差异达 1%(**)或 5%(*)显著水平。

t-tests (LSD). Values within a column followed by a different letter are significantly different at the 0.01(**) or 0.05(*) probability levels.

表 3 不同库容量类型籼稻品种间叶面积系数的差异
Table 3 Difference of LAI between different sink-potential types of indica rice

类型 Type	抽穗期 LAI LAI at heading stage		成熟期 LAI LAI at maturing stage		结实期 LAI 下降比例 Decline proportion of LAI during grain filling period (%)	
	2001	2002	2001	2002	2001	2002
A	3.93 b	5.23 c	2.19 b	1.83 c	42.79	60.37 a
B	5.91 ab	6.06 bc	3.76 a	3.48 b	35.17	41.57 b
C	5.92 ab	6.49 b	3.55 a	3.74 b	38.42	42.11 b
D	7.12 a	6.67 b	4.11 a	4.25 b	40.84	36.03 b
E	7.15 a	8.00 a	4.01 a	5.17 a	43.21	34.80 b
F	6.32 a	9.18 a	3.88 a	6.03 a	38.61	37.07 b
F-value	3.723**	9.575**	4.664**	16.319**	0.603	4.833**

LSD 法, 字母相同者差异不显著, 字母不同者差异达 1%(**)或 5%(*)显著水平。
t-tests (LSD). Values within a column followed by a different letter are significantly different at the 0.01(**) or 0.05(*) probability levels.

叶面积系数下降比例较小。

2.2.2 叶面积相关参数的差异 由表 4 可知, 各类品种的抽穗期平均绿叶重, 随品种库容的增大而显著增加, 类型间的差异均达极显著水平, 2001 年 D、E、F 类品种显著大于 A、B、C 类品种, 2002 年 F 类品种显著大于 A、B、C、D、E 类品种, E 类品种显著大于 A、B、C、D 类品种, B、C、D 类品种显著大于 A 类品种。各类品种的成熟期平均绿叶重, 随品种库容的增大而显著增加, 类型间的差异均达极显著水平, 2001 年 F 类品种显著大于 A、B、C 类品种, D、E 类品种大于 A、C 类品种, 2002 年除 B、C 类品种间无显著差异外, 其他类型品种间的差异均达到显著水平。各类品种的比叶重, 总体随着库容量的增大而显著增大, 2002 年趋势比 2001 年显著, 类型间的差异达显著或极显著水平, 2001 年 A、F 类品种显著大于 B、C 类品种, 2002 年 F 类品种显著大于 A、B、C 类品种, E 类品种显著大于 A 类品种。相关分析表明, 库容量与抽穗期平均绿叶重($r_{2001}=$

0.552^{**} , $r_{2002}=0.677^{**}$)、成熟期平均绿叶重($r_{2001}=0.467^{**}$, $r_{2002}=0.705^{**}$)均呈极显著正相关, 与比叶重相关不显著或呈极显著正相关($r_{2001}=-0.066$, $r_{2002}=0.319^{**}$)。

由上说明, 不同库容量类型品种间平均抽穗期绿叶重、平均成熟期绿叶重、比叶重的差异较大, 大库容量品种大于小库容量类型品种。库容量与抽穗期绿叶重、成熟期绿叶重关系密切, 与比叶重的关系年度间有差异。

2.3 不同库容量类型籼稻品种结实期净同化率的差异

以灌浆结实期干物质生产量除以灌浆结实期的平均叶面积系数和日数, 求出每个供试品种的净同化率。由表 5 可知, 各类品种的结实期净同化率, 呈现随品种库容的增大而增加的趋势, 类型间的差异均达极显著水平, 2001 年 F 类品种显著大于 A、B、C、D、E 类品种, 2002 年 D、E、F 类品种显著大于 A、B、C 类品种。相关分析表明, 库容量与结实期

表 4 不同库容量类型籼稻品种间叶面积相关参数的差异
Table 4 Difference of leaf area related parameters between different sink-potential types of indica rice

类型 Type	抽穗期绿叶重 Green leaf weight at heading stage (g m ⁻²)		成熟期绿叶重 Green leaf weight at maturing stage (g m ⁻²)		比叶重 Leaf weight per unit leaf area (mg cm ⁻²)	
	2001	2002	2001	2002	2001	2002
A	189.78 b	180.85 d	105.45 c	75.61 e	4.97 a	4.06 c
B	232.76 b	247.71 c	147.93 bc	143.09 d	4.01 b	4.16 bc
C	232.39 b	269.46 c	138.85 c	155.85 d	3.94 b	4.21 bc
D	303.27 a	293.79 c	172.42 ab	188.66 c	4.48 ab	4.45 abc
E	306.62 a	358.36 b	175.10 ab	232.37 b	4.39 ab	4.56 ab
F	303.51 a	470.27 a	182.06 a	295.02 a	4.97 a	4.89 a
F-value	8.389**	23.154**	5.341**	22.657**	3.723**	2.725*

LSD 法, 字母相同者差异不显著, 字母不同者差异达 1%(**)或 5%(*)显著水平。
t-tests (LSD). Values within a column followed by a different letter are significantly different at the 0.01(**) or 0.05(*) probability levels.

表 5 不同库容量类型籼稻品种间净同化率和单位叶面积籽粒产量的差异
Table 5 Difference of Net assimilation rate during grain filling period and grain yield per unit leaf area between different sink-potential types of indica rice

类型 Type	净同化率 Net assimilation rate during grain filling period ($\text{g m}^{-2} \text{d}^{-1}$)		单位叶面积籽粒产量 Grain yield per unit leaf area (mg cm^{-2})	
	2001	2002	2001	2002
A	4.04 b	3.03 b	9.02 c	6.57 c
B	3.46 b	2.88 b	9.17 c	7.82 c
C	4.26 b	3.77 b	10.94 bc	10.16 b
D	4.51 b	4.70 a	10.88 bc	12.01 a
E	4.91 b	5.00 a	11.79 b	12.08 a
F	6.82 a	4.97 a	15.23 a	11.46 ab
F-value	4.22**	8.416**	3.799**	13.667**

LSD 法, 字母相同者差异不显著, 字母不同者差异达 1%(**)或 5%(*)显著水平。

t-tests (LSD). Values within a column followed by a different letter are significantly different at the 0.01(**) or 0.05(*) probability levels.

净同化率呈极显著正相关($r_{2001}=0.331^{**}$, $r_{2002}=0.479^{**}$)。

由上说明, 不同库容量类型品种间灌浆结实期净同化率差异较大, 大库容量类型品种大于小库容量类型品种, 库容量显著受到净同化率的影响。

2.4 不同库容量类型籼稻单位叶面积籽粒产量的差异

以籽粒产量除以抽穗期叶面积求出每个供试品种单位叶面积的籽粒产量。由表 5 可知, 各类品种的抽穗期平均单位叶面积籽粒产量, 呈现随品种库容的增大而增加的趋势, 类型间的差异均达极显著水平, 2001 年 F 类品种显著大于其他各类品种, E 类品种显著大于 A、B 类品种, 2002 年 D、E 类品种显著大于 A、B、C 类品种, F、C 类品种显著大于 A、B 类品种。相关分析表明, 库容量与单位叶面积籽粒产量呈极显著正相关($r_{2001}=0.376^{**}$, $r_{2002}=0.540^{**}$)。

由上说明, 不同库容量类型品种间单位叶面积籽粒产量差异较大, 大库容量类型品种显著大于小库容量类型品种, 库容量显著受到单位叶面积籽粒产量的影响。

2.5 不同库容量类型籼稻品种库容量相关参数的差异

2.5.1 单位叶面积库容量的差异 由表 6 可知, 各类品种的抽穗期平均单位叶面积库容量, 随品种库容的增大而显著增加, 类型间的差异均达极显著水平, 2001 年 F 类品种显著大于其他各类品种, E 类品种显著大于 A、B 类品种, 2002 年 D、E、F 类品种显著大于 A、B、C 类品种, C 类品种显著大于 A、B 类品种。相关分析表明, 库容量与单位叶面积库容量呈极显著正相关($r_{2001}=0.473^{**}$, $r_{2002}=0.580^{**}$)。

由上说明, 不同库容量类型品种间单位叶面积库容量差异较大, 大库容量类型品种大于小库容量类型品种, 库容量显著受到单位叶面积库容量的影响。

2.5.2 单位干物质库容量的差异 由表 6 可知, 各类品种的抽穗期平均单位干物质库容量, 随品种库容的增大而显著提高, 类型间的差异均达极显著水平, 2001 年 F 类品种显著大于其他各类品种, E 类品种显著大于 A、B、D 类品种, D 类品种显著大于 A 类品种, 2002 年 D、E、F 类品种显著大于 A、B、C 类品种, C 类品种显著大于 A、B 类品种。相关分析表明, 库容量与单位干物质库容量呈极显著正相关($r_{2001}=0.563^{**}$, $r_{2002}=0.566^{**}$)。

由上说明, 不同库容量品种类型间单位干物质库容量差异较大, 大库容量类型品种显著大于小库容量类型品种, 库容量显著受到单位干物质库容量的影响。

2.5.3 单位氮素库容量的差异 由表 6 可知, 各类品种的抽穗期平均单位氮素库容量, 随着库容量的增大而显著提高, 类型间的差异均达极显著水平, 2001 年 F 类品种显著大于 A、B、C、D 类品种, E 类品种显著大于 A、B、D 类品种, C 类品种显著大于 A 类品种, 2002 年 D、E、F 类品种显著大于 A、B、C 类品种, C 类品种显著大于 A、B 类品种。相关分析表明, 库容量与单位氮素库容量呈极显著正相关($r_{2001}=0.518^{**}$, 0.503^{**})。

由上说明, 不同库容量类型品种间单位氮素库容量差异较大, 大库容量类型品种显著大于小库容量类型品种, 库容量显著受到单位氮素库容量的影响。

表 6 不同库容量类型籼稻品种库容量相关参数的差异
Table 6 Difference of sink-potential related parameters between different sink-potential types of indica rice

类型 Type	单位叶面积库容量		单位干物质库容量		单位氮素库容量	
	Sink potential per unit leaf area (mg cm ⁻²)		Sink potential per unit dry matter weight (g g ⁻¹)		Sink potential per unit N (g g ⁻¹)	
	2001	2002	2001	2002	2001	2002
A	11.65 c	8.66 c	0.61 d	0.56 c	50.25 d	47.62 c
B	11.55 c	9.98 c	0.72 cd	0.68 c	59.94 cd	55.36 c
C	13.60 bc	12.56 b	0.84 bc	0.81 b	65.13 bc	64.82 b
D	13.98 bc	15.34 a	0.80 c	0.94 a	61.94 cd	72.82 a
E	15.82 b	15.57 a	0.92 ab	0.97 a	71.12 ab	77.86 a
F	19.78 a	15.75 a	1.01 a	0.93 a	75.95 a	73.01 a
F-value	6.249**	14.419**	8.028**	14.843**	6.274**	9.655**

LSD 法, 字母相同者差异不显著, 字母不同者差异达 1%(**)或 5%(*)显著水平。
t-tests (LSD). Values within a column followed by a different letter are significantly different at the 0.01(**) or 0.05(*) probability levels.

3 讨论

3.1 生育期及每日形成库容量对单位面积库容量的影响

一般认为, 库容量大的品种往往生育期较长, 但生育期对库容量的影响究竟有多大, 库容量是否还受其他性状的影响人们并不清楚。库容量可以理解为生育期×每日形成的库容量。随着库容的增大, 全生育期天数、每日形成的库容量均表现为增加趋势, 后者趋势极为显著(图 1), 库容量与每日形成的库容量($r_{2001}=0.963^{**}$, $r_{2002}=0.969^{**}$, $r_{\text{两年}}=0.957^{**}$)的相关程度要比其与全生育期天数($r_{2001}=0.181$, $r_{2002}=0.262^{**}$, $r_{\text{两年}}=0.284^{**}$)的相关程度密切。通径分析结果也表明, 每日形成的库容量对库容量的直接通径系数(2001 年、2002 年及两年合并的系数分别为 0.937、0.926、0.835)显著大于全生育期天数对库容量的直接通径系数(2001 年、2002 年及两年合并的系数分别为 0.205、0.210、0.160, 决定系数分别为 0.995、0.995、0.992)。可见每日形成的库容量对单位面积库容量的影响大于生育期对单位面积库容量

的影响。

3.2 不同库容量类型品种源库相关参数的差异

前人从形态性状^[12,15-16]、胚乳细胞^[17]、维管束解剖结构^[18]、生理活性^[19]、籽粒含水率^[20]等不同的角度描述了水稻的源库指标。叶面积虽然不能直接反映出源的质量(光合能力), 但直观、易于调控, 在生产实践中一般以此作为源的指标, 但有学者认为单纯 LAI 并不全面, 还应考虑与叶面积相关的叶片重和比叶重这两个因子^[6-7]。本研究表明, 大库容量类型品种抽穗期叶面积、成熟期叶面积、抽穗期绿叶重、成熟期绿叶重、比叶重(2001 年 A 类品种偏大, 但 B~F 类品种表现为与 2002 年相似的趋势)、结实期净同化率均较大, 但结实期叶面积下降比例较小, 说明大库容量类型品种库容大是由数量大、活性强的叶源作基础的。

在水稻品种演变过程中, 库容量、产量的提高伴随着干物质积累量^[2,21]和氮素吸收量的增加^[5], 库容量不仅取决于叶面积的数量与功能, 还与干物质生产量、氮素吸收量有密切的关系。因此, 仅以单

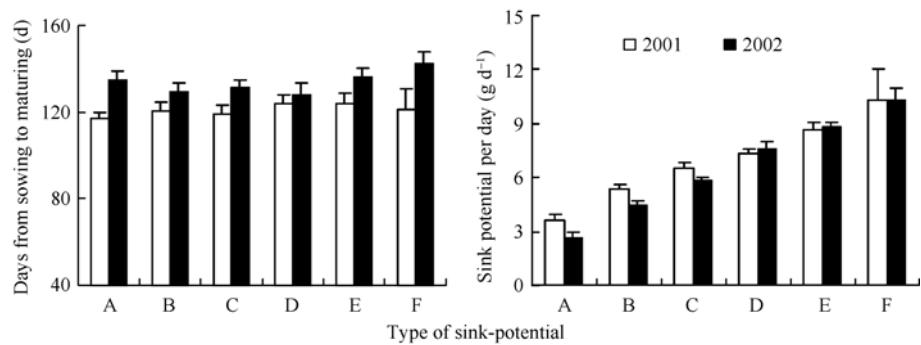


图 1 不同库容量类型籼稻品种全生育期及每日形成库容量的差异
Fig. 1 The difference of growth duration and sink potential per day in cultivars with different types of sink-potential

位面积颖花数 \times 粒重来描述库容量显得有些单薄, 在一些研究中提出用库容量=叶面积 \times 单位叶面积库容量^[8-11], 库容量=干物质生产量 \times 单位干物质库容量^[8-10,12], 库容量=氮素吸收量 \times 单位氮素库容量^[8-10,13]等来表示描述库容量的特征。本研究表明, 大库容量类型水稻品种库源比(如单位叶面积籽粒产量、单位叶面积库容量、单位干物质库容量、单位氮素库容量)均显著大于小库容量类型品种。增大库源比有利于光合产物从叶片中输出, 减少糖在叶片中的积累, 延缓叶片衰老^[22], 促进光合产物向穗部分配^[4], 促进氮素向籽粒分配与运转^[23]。因此, 提高库源比(单位叶面积库容量、单位干物质库容量、单位氮素库容量)有利于提高水稻品种的经济系数和氮素利用效率^[8], 有利于提高水稻的库容量及产量^[10]。

3.3 影响库容量的主要源库因素

目前, 关于库与源的关系已做了较多的探索^[24-30], 基本共识是水稻生长前期叶面积增加迅速, 抽穗期叶面积系数较高, 结实期叶面积下降速度慢, 成熟期仍有一定的绿叶面积, 结实期净同化率高是增大库容的重要前提与保障, 并用单位叶面积籽粒产量、单位叶面积颖花量、单位叶面积实粒数这3个粒叶比指标来判断源库协调的程度^[2,5], 也有研究^[11]指出用单位叶面积承受的库(库叶比)和单位叶面积承受的现实产量(单位叶面积籽粒产量)以及产量库实现率(单位库容籽粒产量)三者能更真实、全面地反映水稻群体结实期的库源特征。但目前对源构成因子、库构成因子(库源比)对库容量的影响从栽培处理角度报道较多, 从品种演变角度报道较少。本研究表明, 库容量与叶面积系数、绿叶重、单位叶面积籽粒产量、单位叶面积库容量、单位干物质库容量、单位氮素库容量关系密切。在生产实践中, 通常以叶面积系数作为源的指标, 因此, 如不考虑绿叶重与比叶重两个因子, 直接对叶面积系数及叶面积下降比例、单位叶面积籽粒产量、单位干物质库容量、单位叶面积库容量、单位氮素库容量与库容量的关系进行通径分析, 结果表明, 2001年叶面积系数、单位叶面积库容量、单位氮素库容量对库容量的直接通径系数分别为0.913、0.809、0.154(决定系数为0.911, 表略), 2002年叶面积系数、单位叶面积库容量、净同化率、单位氮素库容量对库容量的直接通径系数分别为0.808、0.656、0.132、0.078(决定系数为0.943, 表略)。但叶面积由绿叶重与比叶重两个因子构成的, 不可忽略它们对库容量的影响^[8-9]。如加

入这2个指标一起进行通径分析, 结果表明, 2001年抽穗期绿叶重、单位叶面积库容量、单位氮素库容量、单位干物质库容量、比叶重对库容量的直接通径系数分别为0.84、0.63、0.167、0.153、-0.388(决定系数0.953, 表略), 2002年抽穗期绿叶重、单位叶面积库容量、单位氮素库容量、净同化率、成穗期绿叶重、比叶重对库容量的直接通径系数分别为0.843、0.604、0.148、0.074、0.072、-0.365(决定系数0.963, 表略)。由此可见, 抽穗期绿叶重(或叶面积系数)、单位叶面积库容量对库容量的作用要显著大于单位氮素库容量、单位干物质库容量、净同化率、比叶重等对库容量的作用。因此在分析源库关系时, 应充分考虑抽穗期绿叶重、单位叶面积库容量对库容量的显著影响。库容量不仅受到叶源、鞘源、库构成因子等地上部性状的影响, 还受到根系性状的影响, 根系与库容量(产量)构成因素关系极为密切^[31-37], 大库容量品种在“鞘源”和“叶源”的基础上, 强大的“根源”是其增大库容、实现高产的重要保障^[38-39], 但这方面报道不多, 还有待进一步深入研究。

4 结论

供试品种库容量差异较大。大库容量品种全生育期天数、每日形成的库容量较大, 库容量显著受到全生育期天数、每日形成库容量的影响, 后者对库容量的作用要大于前者对库容量的作用。大库容量类型籼稻品种叶面积系数、绿叶重、结实期净同化率、单位叶面积籽粒产量、单位叶面积库容量、单位干物质库容量、单位氮素库容量显著大于小库容量类型品种。抽穗期绿叶重、单位叶面积库容量对库容量的作用要显著大于单位氮素库容量、单位干物质库容量、净同化率、比叶重等对库容量的作用。因此在分析源库关系时, 应充分考虑抽穗期绿叶重、单位叶面积库容量对库容量的显著影响。

References

- [1] Wu P(吴平), Luo A-C(罗安程), Ni J-J(倪俊建), Zhang Y-S(章永松). Current stage of plant nutrition molecular genetics. *Plant Nutr Fert Sci* (植物营养与肥料学报), 1996, 2(1): 1-7 (in Chinese with English abstract)
- [2] Ling Q-H(凌启鸿), Yang J-C(杨建昌). Studies on "grain-leaf ratio" of population and cultural approaches of high yield in rice plants. *Sci Agric Sin* (中国农业科学), 1986, 20(3): 1-8 (in Chinese with English abstract)
- [3] Cao X-Z(曹显祖), Zhu Q-S(朱庆森). Study on characteristics of

- the relationship between source and sink in rice varieties and their classification. *Acta Agron Sin* (作物学报), 1987, 13(4): 265–272 (in Chinese with English abstract)
- [4] Zhu Q-S(朱庆森), Zhang Z-J(张祖建), Yang J-C(杨建昌), Cao X-Z(曹显祖), Lang Y-Z(郎有忠), Wang Z-C(王增春). Source-sink characteristics related to the yield in intersubspecific hybrid rice. *Sci Agric Sin* (中国农业科学), 1997, 30(3): 52–59 (in Chinese with English abstract)
 - [5] Ling Q-H(凌启鸿). Crop Population Quality (作物群体质量). Shanghai: Shanghai Scientific & Technical Publishers, 2000. pp 12–15, 21–23, 154–178 (in Chinese)
 - [6] Yang J-C(杨建昌), Wang Z-Q(王志琴), Zhu Q-S(朱庆森). Studies on yield source and sink relationships in rice. *J Jiangsu Agric Coll* (江苏农学院学报), 1993, 14(3): 47–53 (in Chinese with English abstract)
 - [7] Lafitte H R, Travis R L. Photosynthesis assimilate partitioning in closely related lines of rice exhibiting different sink: Source relationships. *Crop Sci*, 1984, 24: 447–452
 - [8] Dong G-C(董桂春), Wang Y-L(王余龙), Zhang Y-F(张岳芳), Chen P-F(陈培峰), Yang L-X(杨连新), Huang J-Y(黄建晔). Main index of source and sink in nitrogen use efficiency for grain output in conventional *indica* rice cultivars. *Acta Agron Sin* (作物学报), 2007, 33(1): 43–49 (in Chinese with English abstract)
 - [9] Zhang Y-F(张岳芳), Wang Y-L(王余龙), Chen L-G(陈留根). Study on main indexes of source and sink in different nitrogen accumulation types of *indica* rice. *Acta Agric Jiangxi* (江西农业学报), 2008, 20(6): 1–4 (in Chinese with English abstract)
 - [10] Zhang C-S(张传胜), Wang Y-L(王余龙), Long Y-C(龙银成), Dong G-C(董桂春), Yang L-X(杨连新). Study on the characteristics of sink potential formation in different yield types of conventional *indica* rice varieties. *J Yangzhou Univ* (Agric & Life Sci Edn)(扬州大学学报·农业与生命科学版), 2004, 25(1): 51–54 (in Chinese with English abstract)
 - [11] Hong Z-F(洪植蕃), Lin F(林菲), Zhuang B-H(庄宝华), Zhu C-Z(朱朝枝). Agro-physio-ecological characteristics of two-line rice hybrids: II. Spikelet fertility and sink-source feature. *J Fujian Agric Coll* (福建农学院学报), 1992, 21(3): 251–258 (in Chinese with English abstract)
 - [12] Huang Y-M(黄育明), Chen Q-F(陈启锋), Li Y-Z(李义珍). Changes of sink source characteristics during the cultivar improvement in rice in China. *J Fujian Agric Univ* (福建农业大学学报), 1998, 27(3): 271–278 (in Chinese with English abstract)
 - [13] Shi Q-H(石庆华), Xu Y-Q(徐益群), Zhang P-L(张佩莲), Zeng X-J(曾宪江), Zhong X-H(钟旭华), Pan X-H(潘晓华). Effects of N uptake on the sink and source of *indica-japonica* F₁ hybrids in rice. *Hybrid Rice* (杂交水稻), 1995, 10(4): 19–22 (in Chinese with English abstract)
 - [14] Gu S-L(顾世梁), Mo H-D(莫惠栋). A new dynamic clustering method-minSSw method. *J Jiangsu Agric Coll* (江苏农学院学报), 1989, 10(4): 1–8 (in Chinese with English abstract)
 - [15] Chen X-B(陈学斌), Xu X-J(徐晓洁), Zhu Z-M(朱兆民), Liao R-J(廖瑞靖), Li Z-W(李卓吾). Source and sink relationships in two-line hybrid rice and the flowing of photosynthate. *Sci Agric Hunan* (湖南农业科学), 1989, (1): 7–9 (in Chinese)
 - [16] Zhou G-Q(周广洽). Sink-source relationships and its regulation approaches in hybrid rice. *Res Agric Modernization* (农业现代化研究), 1982, (6): 13–16 (in Chinese)
 - [17] Zhang Z-J(张祖建), Zhu Q-S(朱庆森), Wang Z-Q(王志琴), Yang J-C(杨建昌). Proliferation and filling of endosperm cell in relation to the source-sink characteristics of rice varieties. *Acta Agron Sin* (作物学报), 1988, 14(1): 21–26 (in Chinese with English abstract)
 - [18] Deng Q-Y(邓启云), Ma G-H(马国辉). A preliminary study on the characters of bundle and its relation to the grain plumpness in intersubspecific hybrid rice. *J Hubei Agric Coll* (湖北农学院学报), 1992, 12(2): 7–11 (in Chinese with English abstract)
 - [19] Liang J-S(梁建生), Cao X-Z(曹显祖), Xu S(徐生), Zhu Q-S(朱庆森), Song P(宋平). Studies on the relationship between the grain sink strength and its starch accumulation in rice (*O. sativa*). *Acta Agron Sin* (作物学报), 1994, 20(6): 685–691 (in Chinese with English abstract)
 - [20] Wang Y-L(王余龙), Cai J-Z(蔡建中), Xu Y-L(徐永林), Hua H-L(华鹤良). Activity of grain capacity and its regulation in rice: I. The relationship between grain water content and capacity activity. *J Jiangsu Agric Coll* (江苏农学院学报), 1990, 11(3): 25–29 (in Chinese with English abstract)
 - [21] Chen W-F(陈温福), Xu Z-J(徐正进), Zhang L-B(张龙步). Physiological Basis of Rice Breeding for Super-High Yield (水稻超高产育种的生理基础). Shenyang: Liaoning Scientific & Technical Publishers, 1995. pp 23–93 (in Chinese)
 - [22] Pan X-H(潘晓华), Wang Y-R(王永锐). Influences of sink-source ratio alteration on photosynthesis, assimilate translocation and partitioning and leaf senescence of rice. *Acta Agron Sin* (作物学报), 1998, 24(6): 821–827 (in Chinese with English abstract)
 - [23] Dong G-C(董桂春), Wang Y-L(王余龙), Zhou J(周娟), Zhang B(张彪), Zhang C-S(张传胜), Zhang Y-F(张岳芳), Yang L-X(杨连新), Huang J-Y(黄建晔). Difference of nitrogen accumulation and translocation in conventional *indica* rice cultivars with different nitrogen use efficiency for grain output. *Acta Agron Sin* (作物学报), 2009, 35(1): 149–155 (in Chinese with English abstract)
 - [24] Venkateswarlu B, Visperas R M. Source-Sink Relationship in Crop Plants: A Review. IRRI Research Paper Series, 1987, No. 125: 1–19
 - [25] Zhang J-G(张俊国). Study on the relationship between source and sink in different *japonica* rice varieties: II. A change of the relationship in different condition. *J Jilin Agric Sci* (吉林农业科学), 1991, (2): 8–14 (in Chinese with English abstract)
 - [26] Zhu Q-S(朱庆森), Cao X-Z(曹显祖), Yang J-C(杨建昌). Study on yield of *indica* rice and characteristic of plant types evolution. In: Ling Q-L(凌启鸿) ed. New Advances on Rice and Wheat (稻麦研究新进展). Nanjing: Southeast University Press, 1991. p 115 (in Chinese)
 - [27] Lin L(林鹿). Study on the sink-source relation and regulation in

- the early-hybrid-rice. *Acta Agric Univ Jiangxiensis* (江西农业大学学报), 1992, 14 (3): 235–241 (in Chinese with English abstract)
- [28] Duan J(段俊), Liang C-Y(梁承邨), Huang Y-W(黄毓文), Chen B-Y(陈宝源), Kang Y(康源). Comparative studies on the grain-filling characteristics and relationship between source and sink among various types of rice. *Sci Agric Sin* (中国农业科学), 1996, 29(3): 66–73 (in Chinese with English abstract)
- [29] Ke J-G(柯建国), Jiang H-D(江海东), Lu J-F(陆建飞), Wu C(吴春), Chen S-S(陈绍尚). The characteristics of grain filling and coordination of source and sink during filling period in relation to different source-sink types of rice. *J Nanjing Agric Univ* (南京农业大学学报), 1998, 21(3): 15–20 (in Chinese with English abstract)
- [30] Yoshiharu W, Kunio M, Kazuyuki W. Effects of source-to-sink ratio on carbohydrate production and senescence of rice flag leaves during the ripening period. *Jpn J Crop Sci*, 1993, 62: 547–553
- [31] Wang Y-L(王余龙), Cai J-Z(蔡建中), He J-S(何杰升), Chen L(陈林), Xu J-K(徐家宽), Bian Y(卞悦). The relationships between spikelet-root activity and grain filling and ripening in rice (*Oryza sativa* L.). *Acta Agron Sin* (作物学报), 1992, 18(3): 81–89 (in Chinese with English abstract)
- [32] Ling Q-H(凌启鸿), Ling L(凌励). Studies on the functions of roots at different nodepositions and their relation to the yield formation in rice plants. *Sci Agric Sin* (中国农业科学), 1984, 17(4): 3–11 (in Chinese with English abstract)
- [33] Zhu D-F(朱德峰), Lin X-Q(林贤青), Cao W-X(曹卫星). Effects of deep roots on growth and yield in two rice varieties. *Sci Agric Sin* (中国农业科学), 2001, 34(4): 429–432 (in Chinese with English abstract)
- [34] Shi Q-H(石庆华), Huang Y-J(黄英金), Li M-Y(李木英), Xu Y-Q(徐益群), Tan X-M(谭雪明), Zhang P-L(张佩莲). Studies on the heredity of root characteristics and correlation between the characteristics of roots and upperground parts in rice. *Sci Agric Sin* (中国农业科学), 1997, 30(4): 61–67 (in Chinese with English abstract)
- [35] Chen X-B(陈信波), Liao A-J(廖爱君), Luo Z-M(罗泽民). Physiological properties of the roots and leaves of a high yield rice line at the late growth stage. *Life Sci Res* (生命科学研究), 1999, 3(3): 250–255 (in Chinese with English abstract)
- [36] Dong G-C(董桂春), Wang Y-L(王余龙), Wang J-G(王坚钢), Shan Y-H(单玉华), Ma A-J(马爱京), Yang H-J(杨洪建), Zhang C-S(张传胜), Cai H-R(蔡惠荣). Differences of root traits among varietal types in rice (*Oryza sativa* L.). *Acta Agron Sin* (作物学报), 2002, 28(6): 749–755 (in Chinese with English abstract)
- [37] Dong G-C(董桂春), Wang Y-L(王余龙), Wu H(吴华), Zhou X-D(周小冬), Shan Y-H(单玉华), Wang J-G(王坚钢), Cai H-R(蔡惠荣), Cai J-Z(蔡建中). Varietal differences in response of main root traits to nitrogen application time in rice (*Oryza sativa* L.). *Acta Agron Sin* (作物学报), 2003, 29(6): 871–877 (in Chinese with English abstract)
- [38] Huo Z-Y(霍中洋), Ye Q-B(叶全宝), Li H(李华), Zhang H-C(张洪程), Dai Q-G(戴其根), Xu K(许轲). Advances of research on source-sink relationship of rice. *Chin Agric Sci Bull* (中国农学通报), 2002, 18(6): 72–77 (in Chinese with English abstract)
- [39] Zhao Q-Z(赵全志), Gao E-M(高尔明), Huang B-S(黄丕生), Ling Q-H(凌启鸿), Sun S-P(孙淑萍), Jiao S-J(焦三军). The relationship between source sink quality and crop cultivation and breeding for maximum yield. *J Henan Agric Univ* (河南农业大学学报), 1999, 33(3): 226–230 (in Chinese with English abstract)