

· 研究报告 ·

不同水稻品种库源的特征变化

崔菁菁, 徐克章, 石晶皎, 武志海, 陈展宇, 张治安*, 吴春胜

吉林农业大学农学院, 长春 130118

摘要 为探讨不同年代水稻(*Oryza sativa*)品种间库、源及库/源的变化, 用吉林省1958–2005年间育成的33个水稻品种为材料, 对库、源及库/源的特征进行了研究。结果表明, 吉林省47年来在水稻品种遗传改良过程中库和源性状均得到了改善。其中, 单株穗重和单株粒数分别增长了62.93%和37.65%, 平均年增长率分别为1.34%和0.80%, 与育成年代均呈显著正相关; 单株叶面积、单株光合能力和剑叶净光合速率(P_n)分别增长了13.75%、24.80%和12.60%, 年增长率分别为0.29%、0.53%和0.27%, 与育成年代均呈显著正相关。不同年代育成水稻品种穗重/单株光合能力、粒数/单株光合能力无明显变化, 但穗重/叶面积和粒数/叶面积与育成年代呈显著正相关, 相关系数分别为0.441 0 ($P<0.05$)和0.401 7 ($P<0.05$); 穗重/ P_n 和粒数/ P_n 与育成年代呈极显著正相关, 相关系数分别为0.509 3 ($P<0.01$)和0.483 2 ($P<0.01$)。以上结果说明, 吉林省水稻品种产量的增加是由于库和源共同作用的结果, 但单位叶面积光合能力的改善远远落后于其它库源性状的增长。进一步提高叶片 P_n 并改善叶片的光合能力应作为高产水稻品种选育的新目标。

关键词 水稻, 库/源, 光合速率

崔菁菁, 徐克章, 石晶皎, 武志海, 陈展宇, 张治安, 吴春胜 (2015). 不同水稻品种库源的特征变化. 植物学报 50, 699–705.

由于水稻(*Oryza sativa*)品种的遗传改良与栽培技术和管理水平的提高, 自20世纪50年代以来, 吉林省水稻单位面积产量已由过去的5 000 kg·hm⁻²左右增长到现在的10 000 kg·hm⁻²以上(赵国臣和郭晞明, 2000)。水稻产量的提高总是伴随着源、库关系的不断改善以及与新型源库关系的建立(黄育民等, 1998; 屠乃美和官春云, 1999)。源(source)是指生产或输出同化产物的器官或组织。水稻的源是由绿色的茎、鞘、叶以及根系等组成, 其中, 叶片和叶鞘是构成源的主要器官。库(sink)是指利用或贮藏同化产物的器官或组织, 水稻植株的库系统由新生组织及生殖器官等组成。黄育民等(1996)认为, 源与库在水稻的生长发育过程中是动态可变的, 可因其生长和着生部位的不同而发生改变。

许多研究表明, 稻作源库理论是将绿叶面积或者叶面积指数(LAI)视为衡量源的指标, 并把单位面积的颖花量视为衡量产量库的指标, 认为粒/叶(No·cm⁻²)是衡量群体源库关系的均衡性指标(黄育民等, 1996)。

Wilson (1971)认为源的强度是由源的大小(常用叶面积衡量)与源的活力(常用光合速率衡量)乘积构成; 库的强度则是由库的大小(单位面积颖花数×粒重)与库活力的乘积构成。源是籽粒发育的物质基础, 源的不足是限制水稻产量的主要因子。水稻要高产, 就必须提高适宜的叶面积指数, 增强叶的光合速率(盛大海等, 2009)。也有许多研究表明, 叶片和茎鞘中的非结构性碳水化合物是影响水稻产量的一个重要因素。

源库关系一直是水稻高产生理研究中的热点问题, 实质上水稻产量的形成是源库关系互作的结果。近年来, 针对水稻源、库与产量关系的变化已有很多报道, 但是关于在水稻遗传改良过程中库、源及库/源特征的变化与育成年代关系的研究尚不多见。本研究以吉林省47年来育成的33个水稻品种为实验材料, 通过研究库-单株穗重和单株粒数、源-单株叶面积、单株光合能力和剑叶 P_n , 以及库/源与育成年代间关系的变化, 为水稻育种新目标的确定和高产栽培提供理论依据。

收稿日期: 2014-12-08; 接受日期: 2015-03-19

基金项目: 国家自然科学基金(No.31171478)、吉林省科技厅重点项目(No.20080201)、吉林省自然科学基金(No.201215183)和吉林省教育厅重点项目(No.2012044)

* 通讯作者。E-mail: zhangzhian6412@163.com

1 材料与amp;方法

1.1 材料

供试材料为吉林省1958–2005年间育成的、在生产上主要推广的33个水稻(*Oryza sativa* L.)品种(表1)。材料由吉林省农业科学院水稻研究所和吉林农业大学水稻研究所提供。

1.2 实验设计

于2011年和2012年在长春市(43°53'N, 125°10'E)吉林农业大学水稻研究所进行实验。耕作层有机质含量2.21%, 有效氮147 mg·kg⁻¹, 速效磷19 mg·kg⁻¹, 速效钾75 mg·kg⁻¹。秧田土为旱田表土:腐熟牛粪=4:1 (v/v), 外加专用育秧营养土, 采用大棚营养土育秧。株行距为15 cm×30 cm, 单株插秧。采用随机区组排列, 设3次重复, 每个小区行长3 m, 5行区。氮肥为尿素, 总施氮量为每公顷折合纯氮140 kg; 磷肥为磷酸二铵, 总施磷量为每公顷折合P₂O₅ 70 kg; 钾肥为硫酸钾, 总施钾量为每公顷折合K₂O 70 kg。氮肥的50%及磷肥和钾肥的全部作基肥, 其余50%的氮肥分别施蘖肥(6月中旬)30%、穗肥(7月中旬)20%。全生育期按常规栽培技术管理。

表1 供试材料的品种名称、育成年代及育成单位

Table 1 Name, release year and breeding units of 33 rice cultivars

Cultivar	Release year	Breeding units	Cultivar	Release year	Breeding units
Songliao1	1958	JAAS	Jiudao11	1990	YAAS
Changbai1	1959	JAAS	Yanjing17	1990	JCAAS
Songliao2	1959	JAAS	Jiudao12	1992	JCAAS
Songliao4	1959	JAAS	Tong35	1995	THAS
Jijing44	1967	JAAS	Jiyujing	1996	JAAS
Jijing51	1967	JAAS	Jijing66	1997	JAAS
Jijing53	1967	JAAS	Nongda8	1998	JLAU
Jijing60	1973	JAAS	Tongyu124	1999	THAS
Jiudao1	1974	JCAAS	Chaochan2	2000	JAAS
Jiudao4	1974	JCAAS	Changbai10	2000	JAAS
Jiudao5	1975	JCAAS	Jijing78	2001	JAAS
Xi14	1978	JAAS	Changbai11	2002	JAAS
Shuangfeng8	1980	YJAS	Tongjing611	2003	THAS
Jijing61	1983	JAAS	Jijing88	2004	JAAS
Ji89-45	1984	JAAS	Jijing89	2005	THAS
Jijing62	1987	JAAS	Tongjing791	2005	JAAS
Jijing63	1989	JAAS			

JAAS: 吉林省农业科学院; YAAS: 延边农科所; JCAAS: 吉林市农科所; YJAS: 永吉县农科站; THAS: 通化市农科所; JLAU: 吉林农业大学

JAAS: Jilin Academy of Agricultural Sciences; YAAS: Institute of Agricultural Sciences of Yanbian; JCAAS: Institute of Agricultural Sciences of Jilin City; YJAS: Agricultural Scientific Station of Yongji County; THAS: Institute of Agricultural Sciences of Tonghua City; JLAU: Jilin Agricultural University

1.3 测定方法

在抽穗后10天每个小区分别选取具有代表性的植株3穴, 放入装有冰块的保温箱中带回实验室。用CI-203便携式激光叶面积仪测定每片绿叶的叶面积, 然后计算出每个品种的平均单株叶面积。于晴天上午9:00–11:00用Li-6400型便携式光合测定系统在田间测定每个品种活体叶片的净光合速率(P_n), 重复测定3次, 取平均值。依据以下公式计算叶片光合能力:

$$\text{叶片光合能力} = \text{叶片净光合速率} \times \text{叶片叶面积}$$

单株光合能力由植株每个叶片光合能力的总和获得。待水稻成熟收获之后, 每个小区品种选取长势基本一致的5穴, 进行考种, 测定单株穗重和单株粒数。重复测定3次, 取平均值。

1.4 数据处理

采用Excel和DPS软件对实验数据进行统计分析。

2 结果与amp;讨论

2.1 不同年代育成水稻品种库的变化

图1显示不同年代育成水稻品种单株穗重(图1A)和单

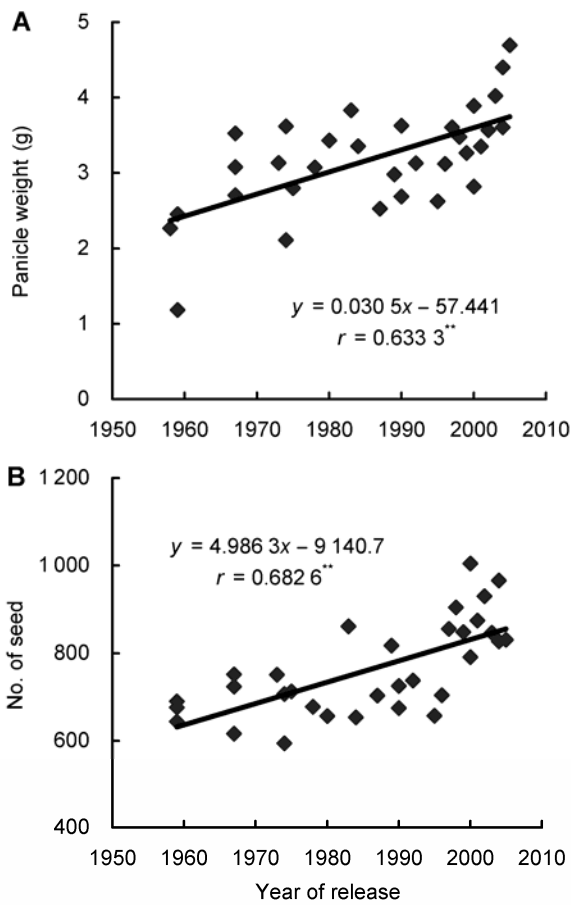


图1 不同年代育成水稻品种单株穗重(A)和单株粒数(B)的变化

Figure 1 Change of panicle weight (A) and numbers of seed (B) of rice with year of release

株粒数(图1B)与育成年代的变化关系。由图1可知, 单株穗重和单株粒数随育成年代推进而呈增加的趋势, 两者之间均呈极显著正相关, 相关系数分别为0.633 3 ($P<0.01$)和0.682 6 ($P<0.01$)。根据回归方程计算, 47年来单株穗重和单株粒数分别增长了62.93%和37.65%, 二者平均年增长率为1.34%和0.80%。

2.2 不同年代育成水稻品种源的变化

图2显示不同年代育成水稻品种单株叶面积(图2A)、单株光合能力(图2B)和 P_n (图2C)的变化。由图2可知, 单株叶面积(图2A)和 P_n (图2C)随育成年代的推进而呈增加的变化趋势, 两者与育成年代均达到显著正相

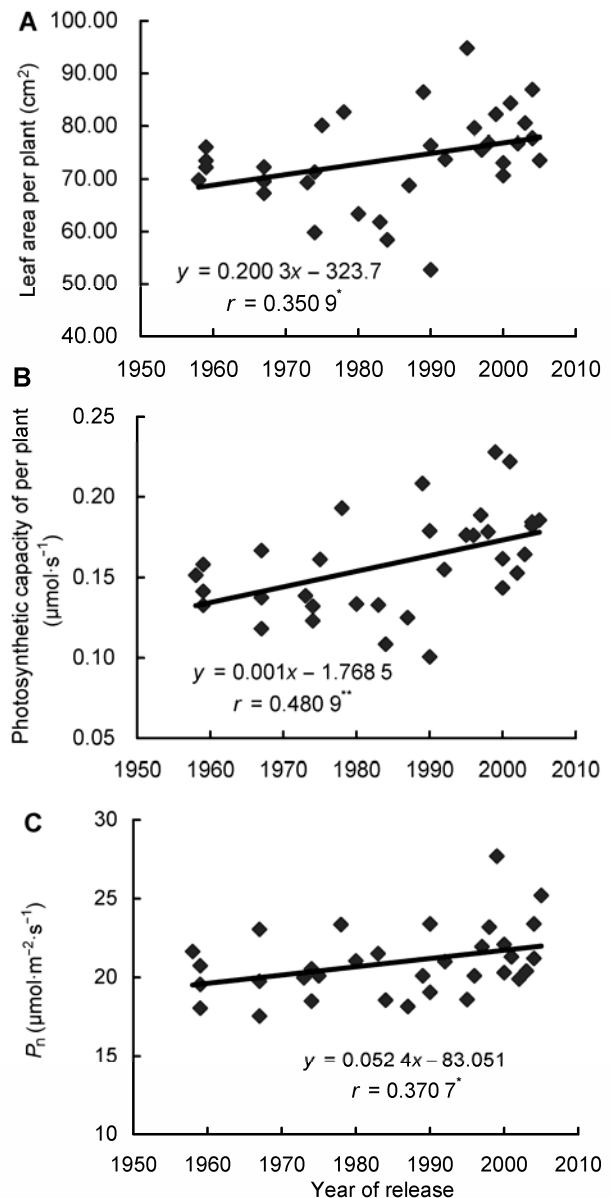


图2 不同年代育成水稻品种单株叶面积(A)、单株光合能力(B)和剑叶净光合速率(P_n)(C)的变化

Figure 2 The change of leaf area per plant (A), photosynthetic capacity of per plant (B), net photosynthetic rate (P_n) of flag leaf (C) of rice with year of release

关, 相关系数分别为0.350 9 ($P<0.05$)和0.370 7 ($P<0.05$); 单株光合能力(图2B)随育成年代呈增长变化, 达到极显著水平, 相关系数为0.480 9 ($P<0.01$)。根据线性回归方程计算, 单株叶面积(图2C)、单株光

合能力(图2B)和剑叶 P_n (图2C) 47年来分别增长了13.75%、24.80%和12.60%，年增长率分别为0.29%、0.53%和0.27%。

2.3 不同年代育成水稻品种库/源的变化

2.3.1 不同年代育成水稻品种穗重/叶面积、粒数/叶面积的变化

图3显示不同年代育成水稻品种穗重/叶面积、粒数/叶面积的变化关系。由图3可知，穗重/叶面积(图3A)和粒数/叶面积(图3B)与育成年代呈显著正相关，相关系数分别为0.441 0 ($P < 0.05$)和0.401 7 ($P < 0.05$)。此二指标47年来分别增长了39.28%和21.09%，平均年增长率为0.84%和0.45%。

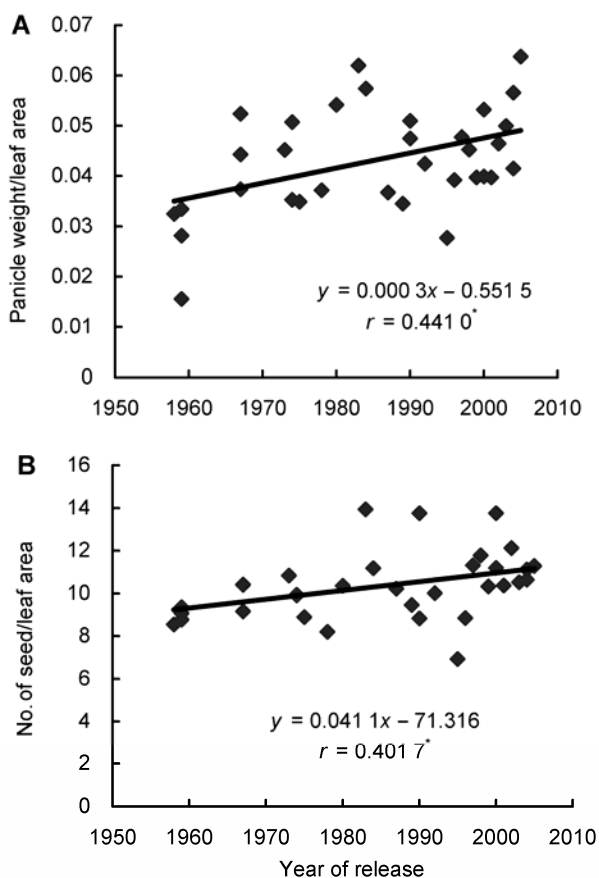


图3 不同年代育成水稻品种穗重/叶面积(A)、粒数/叶面积(B)的变化

Figure 3 The change of spanicle weight/leaf area (A), No. of seed/leaf area (B) of rice with year of release

2.3.2 不同年代育成水稻品种穗重/光合能力、粒数/光合能力的变化

图4显示不同年代育成水稻品种穗重/光合能力、粒数/光合能力的变化关系。由图4可知，穗重/光合能力(图4A)及粒数/光合能力(图4B)与育成年代均呈正相关，但变化并不显著。这说明47年来，在水稻品种的遗传改良过程中，穗重和穗粒数增加的同时，植株光合能力也得到了相应的提升。

2.3.3 不同年代育成水稻品种穗重/ P_n 和粒数/ P_n 的变化

图5显示不同年代育成水稻品种穗重/ P_n (图5A)和粒

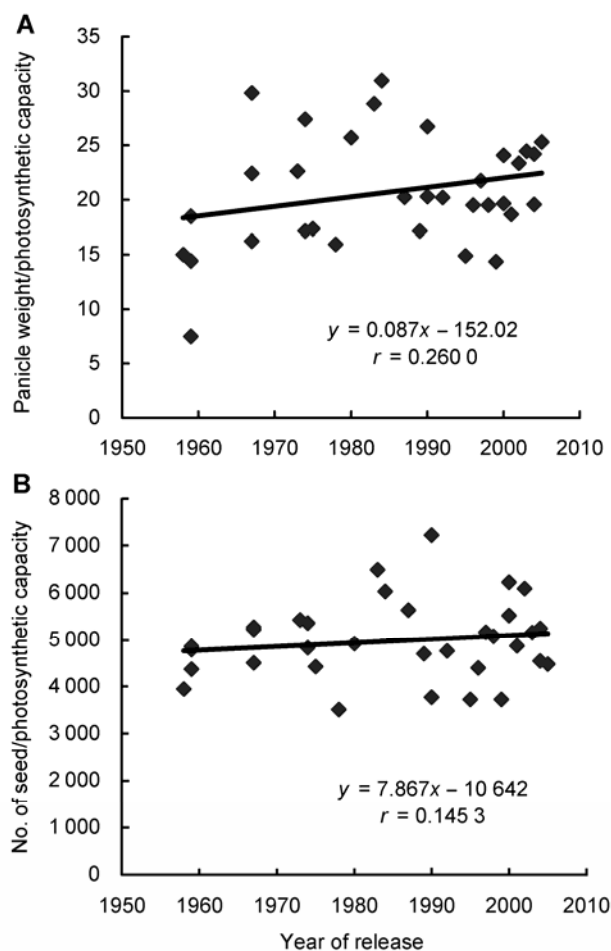


图4 不同年代育成水稻品种穗重/光合能力(A)与粒数/光合能力(B)的变化

Figure 4 The change of panicle weight/photosynthetic capacity (A), No. of seed/photosynthetic capacity (B) of rice with year of release

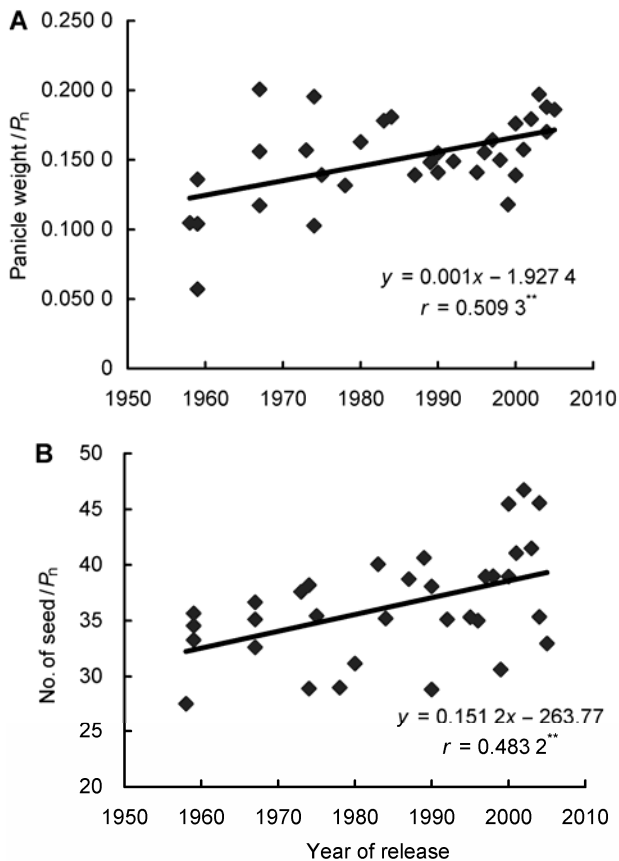


图5 不同年代育成水稻品种穗重/净光合速率(P_n) (A)和粒数/ P_n (B)的变化

Figure 5 The change of panicle weight/net photosynthetic rate (P_n) (A) and No. of seed/ P_n (B) of rice with year of release

数/ P_n (图5B)的变化关系。由图5可知, 穗重/ P_n (图5A)和粒数/ P_n (图5B)与育成年代呈线性递增趋势, 相关性达到极显著水平, 相关系数分别为0.509 3 ($P < 0.01$)和0.483 2 ($P < 0.01$)。结果表明, 提高品种的光合速率, 也就是将源提高, 有助于库的增加。

2.4 不同水稻品种库-源的关系

对不同水稻品种库-源的相关性分析结果(表2)表明, 穗重与单株叶面积呈正相关, 但未达到显著水平; 穗重与净光合速率呈显著正相关, 相关系数为0.383 1 ($P < 0.05$); 穗重与单株光合能力呈显著正相关, 相关系数为0.304 4 ($P < 0.05$)。粒数与单株叶面积呈正相关, 但没有达到显著水平; 粒数与净光合速率呈显

著正相关, 相关系数为0.440 8 ($P < 0.05$); 粒数与光合能力呈极显著正相关, 相关系数为0.475 1 ($P < 0.01$)。

2.5 讨论

关于源库理论一直是热点研究问题。库、源究竟谁是限制产量的主要因子? 已有的研究结论各不相同。源是籽粒发育的物质基础, 水稻产量的主要限制因子是源, 水稻要高产, 就必须提高适宜的叶面积指数, 增强叶的光合速率。稻谷产量物质来源之一是库贮藏物, 抽穗前茎鞘贮藏物对库的充实作用意义重大(杨建昌等, 1998)。高产水稻在生育后期更需要强壮的茎系和叶系, 贮藏物撤退过快、过多会加速衰老和易致倒伏而不利于高产。抽穗后冠层叶对产量的贡献为70%–85% (殷宏章等, 1956)。水稻籽粒积累的糖分主要来自抽穗后叶片的光合物(段俊等, 1996; 杨惠杰等, 1999)。要提高水稻产量必须依靠不断地扩大库, 也就是说库是产量的限制因子。

赵全志等(1999, 2000)利用系统分析法构建群体源库质量结构图, 提出三源-库理论, 强调三源即叶源、根源和鞘源, 要相互统一配合, 才能实现最终意义上的源库协调。Sasaki和Ishii (1992)以及Yang等(2002)的研究结果表明, 在不同生育期水稻品种间的叶片光合速率存在着较大差异。马文波等(2003)、陈温福等(2005)和程式华等(2005)的研究结果表明, 为了促进抽穗后群体的物质生产, 只有在增加库的基础上扩大源, 才能进一步增加水稻的产量。已有研究表明, 保证源的充足供应是提高水稻产量的一个重要方面, 增加群体光合生产能力是提高水稻产量的根本途径(凌启鸿, 1995; 苏祖芳等, 1995; 刘宛等, 2001)。大野义一(1979)认为, 水稻叶片净光合速率对干物质生产的贡献小于叶面积对干物质生产的贡献。姜楠等(2011)认为, 吉林省水稻品种的遗传改良对剑叶净光合速率的影响并不大。曹树青等(2001)的研究表明, 不同基因型粳稻的光合速率存在着显著差异, 其光合速率的变幅为 $17.9\text{--}29.6 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 。本研究中剑叶 P_n 的变幅为 $17.55\text{--}25.2 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$; 而根据回归方程计算吉林省47年来育成水稻品种的 P_n 增长率为12.60%。以上说明品种改良对 P_n 的改善作用远远低于品种间的差异, 通过提高单位叶面积 P_n 提高产量的潜力还十分巨大。

表2 不同水稻品种库-源的关系

Table 2 Relationship between the sink and the source of different rice varieties cultivars

	Single plant leaf area	Net photosynthetic rate (P_n)	Photosynthetic capacity of plant	Panicle weight
P_n	0.261 3			
Photosynthetic capacity of plant	0.802 3**	0.783 7**		
Panicle weight	0.082 6	0.383 1*	0.304 4*	
No. of seed	0.321 6	0.440 8*	0.475 1**	0.537 5**

* 在0.05水平上差异显著; ** 在0.01水平上差异显著。

* and ** indicate significant level at 5% and 1% probability level, respectively.

本研究结果表明, 47年来吉林省水稻品种遗传改良过程中, 源库的性状均得到了改善, 产量的增加是由于源库共同作用的结果。但本研究结果也表明, 穗重/ P_n 和粒数/ P_n 均表现为随着育成年代而显著增加的趋势。本实验结果说明, 水稻品种遗传改良过程中 P_n 的增长远远落后于穗重和粒数的增长, P_n 可能是限制水稻新品种产量的一个重要因素。在未来水稻育种工作中应进一步提高叶片的净光合速率, 改善植株单位叶面积的光合生产能力。本实验结果对未来水稻高产新品种育种目标的设计和 高产栽培技术均有一定的理论和实践意义。

参考文献

- 曹树青, 翟虎渠, 张荣铨, 杨图南, 匡廷云 (2001). 水稻种质资源光合速率及光合功能期的研究. 中国水稻科学 15, 29–34.
- 陈温福, 徐正进, 张龙步 (2005). 北方粳型超级稻育种的理论与方法. 沈阳农业大学学报 36, 3–8.
- 程式华, 曹立勇, 陈深广, 朱德峰, 王熹, 闵绍楷, 翟虎渠 (2005). 后期功能型超级杂交稻的概念及生物学意义. 中国水稻科学 19, 280–284.
- 大野义一 (1979). 籼稻光合效率的品种间差异和干物质生产. 北京: 中国农业出版社. pp. 11–108.
- 段俊, 梁承邨, 黄毓文, 陈宝源, 罗廉源 (1996). 不同类型水稻品种(组合)籽粒灌浆特性及库源关系的比较研究. 中国农业科学 29(3), 66–73.
- 黄育民, 陈启锋, 李义珍 (1998). 我国水稻品种改良过程源库特征的变化. 福建农业大学学报 27, 271–278.
- 黄育民, 李义珍, 庄占龙, 郑景生, 余瑞远 (1996). 杂交稻高产群体干物质积累运转I. 干物质的积累运转. 福建省农科院学报 11(2), 7–11.
- 姜楠, 邸玉婷, 徐克章, 赵国臣, 凌凤楼, 武志海, 张治安 (2011). 吉林省不同年代育成水稻品种上三叶光合特性的变化. 作物学报 37, 703–710.
- 凌启鸿 (1995). 水稻群体质量理论与实践. 北京: 中国农业出版社. pp. 34–44.
- 刘宛, 徐正进, 陈温福, 李金泉, 李磊鑫, 张龙步 (2001). 不同氮素水平对直立穗型水稻品种群体光合特性的影响. 沈阳农业大学学报 32, 8–12.
- 马文波, 马均, 明东风, 许凤英, 严志彬, 孙晓辉 (2003). 不同穗重型水稻品种剑叶光合特性的研究. 作物学报 29, 236–240.
- 盛大海, 刘元英, 李广宇 (2009). 水稻源库关系研究进展与应用. 东北农业大学学报 40(5), 117–122.
- 苏祖芳, 张亚洁, 张娟, 张海泉, 姚志发, 沈富荣, 姚友权, 李本良 (1995). 基肥与穗粒肥对比对水稻产量形成和群体质量的影响. 江苏农学院学报 16(3), 21–30.
- 屠乃美, 官春云 (1999). 水稻幼穗分化期间减源对源库关系的影响. 湖南农业大学学报 25, 430–436.
- 杨惠杰, 李义珍, 黄育民, 郑景生, 姜照伟, 林文 (1999). 超高产水稻的产量构成和库源结构. 福建农业学报 14, 1–5.
- 杨建昌, 苏宝林, 王志琴, 郎有忠, 朱庆森 (1998). 亚种间杂交稻籽粒灌浆特性及其生理的研究. 中国农业科学 31, 7–14.
- 殷宏章, 沈允钢, 陈因, 余志新, 李娉娉 (1956). 水稻开花后干物质的积累和运输. 植物学报 5, 177–194.
- 赵国臣, 郭晞明 (2000). 21世纪吉林省水稻栽培研究展望. 延边大学农学学报 22, 63–65.
- 赵全志, 高尔明, 黄丕生, 凌启鸿, 孙淑萍, 焦三军 (1999). 源库质量与作物超高产栽培及育种. 河南农业大学学报 33, 226–230.
- 赵全志, 黄丕生, 凌启鸿, 高尔明, 董家胜 (2000). 水稻颖花伤流量与群体质量的关系. 南京农业大学学报 23(3), 9–12.

Sasaki H, Ishii R (1992). Cultivar differences in leaf photosynthesis of rice bred in Japan. *Photosynth Res* **32**, 139–146.

Wilson J (1971). Photosynthesis and energy conversion. In: Warring PF, Cooper JP, eds. *Potential Crop Production*.

Exeter: Educational Books. pp. 43–75.

Yang JC, Zhang WH, Wang ZQ, Liu LJ, Zhu QS (2002). Source-sink characteristics and the translocation of assimilates in new plant type and intersubspecific hybrid rice. *Agric Sci China* **1**, 155–162.

Changes in Sink-source Variation Characteristics of Different Rice Varieties

Jingjing Cui, Kezhang Xu, Jingjiao Shi, Zhihai Wu, Zhanyu Chen, Zhian Zhang^{*}, Chunsheng Wu

Agronomy College, Jilin Agricultural University, Changchun 130118, China

Abstract We aimed to understand the relationship between sink, source and sink-source in *Oryza sativa* cultivars released in different years. With 33 rice varieties bred for materials, sink, source and sink-source were studied from 1958 to 2005 in Jilin Province. Rice genetic-improvement sink and source traits improved in Jilin Province in 47 years. For sink, panicle weight and number of seeds were positively correlated with year of release, increased by 62.93% and 37.65%, respectively, and 1.34% and 0.80% on average, respectively. For source, leaf area per plant, flag leaf photosynthetic capacity and net photosynthetic rate (P_n) were positively correlated with year of release, increased by 13.75%, 24.80% and 12.60%, with the annual growth rate 0.29%, 0.53% and 0.27% in last 47 years. Different rice varieties ear weight/plant photosynthetic capacity and grains/plant photosynthetic capacity did not differ. However, panicle weight/leaf area and grains/leaf area showed a significant positive correlation with breeding age (correlation coefficients 0.441 0, $P<0.05$, and 0.401 7, $P<0.05$). Panicle weight/ P_n and grains/ P_n showed a significant positive correlation with breeding age (correlation coefficients 0.509 3, $P<0.01$, and 0.483 2, $P<0.01$). Rice production can be increased as a result of sink-source interaction in Jilin Province, but improving photosynthetic capacity per unit leaf area growth lags far behind other sink-source traits. Improving the leaf P_n , leaf photosynthetic capacity should improve with the new high-yielding rice varieties breeding goals.

Key words rice, sink-source, photosynthetic rate

Cui JJ, Xu KZ, Shi JJ, Wu ZH, Chen ZY, Zhang ZA, Wu CS (2015). Changes in sink-source variation characteristics of different rice varieties. *Chin Bull Bot* **50**, 699–705.

* Author for correspondence. E-mail: zhangzhian6412@163.com