

杂交水稻产量性状配合力研究

粟学俊¹, 韦鹏霄², 吕志仁³

(1. 广西农科院水稻所, 广西南宁 530007; 2. 广西大学生物技术中心; 3. 广西大学农学院, 广西南宁 530005)

摘要: 利用 9 个不育系和 7 个恢复系配制 40 个杂交组合, 对 6 个产量性状的亲本一般配合力和组合特殊配合力效应进行分析。结果表明, 杂种一代(F_1)各性状的形成同时受亲本一般配合力和组合特殊配合力的影响。单株穗数、每穗总粒数、千粒重三性状主要受一般配合力作用; 每穗实粒数、结实率、单株粒重三性状则一般配合力和组合特殊配合力的作用同样明显, 或特殊配合力作用更明显些。不育系珍汕 97A、龙特浦 A、K18A 和恢复系明恢 63、直龙、1025 的一般配合力高, 利用它们容易配制出高产组合。两年试验结果千粒重、单株粒重二性状的形成均是不育系的作用大于恢复系, 近期育种工作重点应放在不育系的选育上。

关键词: 杂交水稻; 亲本; 性状; 一般配合力; 特殊配合力

中图分类号: Q943 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3142(2004)01-0091-06

Study on the combining ability of the yield-trait in hybrid rice

SU Xue-jun¹, WEI Peng-xiao², LU Zhi-ren³

(1. Rice Research Institute, Guangxi Academy of Agricultural Sciences, Nanning 530007, China; 2. Biotechnology Research Center, China; 3. Agricultural College, Guangxi University, Nanning 530005, China)

Abstract: 9 MS lines and 7 restorers were used to make 40 combinations. The general combining ability (GCA) and the special combining ability (SCA) on 6 yield-related traits of the parents were studied. The result showed: the forming of these traits in hybrid F_1 was influenced by both GCV and SCV. Panicles per plant, spikelets per panicle and the 1000-grain weight were mainly controlled by GCV, while GCV and SCV effected on filled grains per panicle, seed setting rate and grains weight per plant were the same importance, or SCV was a little more important. The three CMS lines Zhenshan 97A, Longtepu A and K18A, and the three restorers Minghui 63, Zhilong and 1025 showed good GCV, hybrids from them showed generally high heterosis. The maternal influence on two traits, the 1000-grain weight and the grains weight per plant was much higher than those on the other traits. In hybrid rice breeding, more attention would be paid to male sterile lines improvement in the near future.

Key words: hybrid rice; parent; trait; GCV; SCV

配合力分为“一般配合力”和“特殊配合力”两种。所谓一般配合力是指一个自交系或品种(纯合体)在一系列杂交组合中平均产量(或其他性状)的表现。通常认为一般配合力是基因加性作用的表现。“特殊配合力”指和所有杂交组合的平均数比较

而言, 某一特定的杂交组合所表现的产量(或其他性状)较之平均数为优或劣的结果。特殊配合力是由基因非加性作用决定的。亲本的农艺性状尤其是产量性状的配合力的优劣往往对其所配的杂交组合能否推广应用起决定性作用。研究杂交水稻亲本的配

收稿日期: 2002-08-19 修订日期: 2003-01-08

作者简介: 粟学俊(1966-), 男, 广西邕宁人, 硕士, 副研究员, 植物遗传育种专业, 从事水稻育种工作。

合力对杂交水稻育种具有重要的指导意义。

本研究选用广西生产上正在应用或曾经大面积应用的、新育成及新引进的杂交水稻恢复系和不育系进行杂交配组,对亲本一般配合力、组合特殊配合力以及它们对杂种F₁各性状形成的影响进行分析,以为杂交水稻育种提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料

两系不育系:K1405S、安湘S、培矮64S;三系不育系:珍汕97A、龙特浦A、K18A、六A、绮A、浙农8010A;恢复系:桂99、桂33、明恢63、直龙、1025、128、938。

1.2 方法

1999年早稻用K1405S、安湘S、培矮64S、珍汕97A、龙特浦A五个不育系与四个恢复系桂99、桂33、明恢63、直龙按5×4NCⅡ遗传设计方式配制20个杂交组合。杂种F₁于1999年晚稻种植,随机区组排列,三次重复,每小区2行,每行10株,株行距23.3 cm×13.3 cm。田间管理按常规方法,成熟期每小区调查一整行所有10株的总有效穗,再根据平

均有效穗取样5株进行室内考种,考查性状包括单株穗数(X₁)、每穗总粒数(X₂)、每穗实粒数(X₃)、结实率(X₄)、千粒重(X₅)、单株粒重(Y)。

2000年晚稻用龙特浦A、K18A、六A、绮A、浙农8010A五个不育系与四个恢复系明恢63、1025、128、938按5×4NCⅡ设计方式配制杂交组合,2001年早稻种植F₁。试验方法同1999年晚稻。田间试验均在南宁广西农科院水稻所试验田进行。

根据马育华(1982)和刘来福(1984)介绍的方法进行配合力分析。

2 结果与分析

2.1 配合力方差分析

1999年试验的一般方差分析(表1)表明,所研究的六个性状的组合间差异均达显著或极显著水平,说明这些性状的差异主要受遗传制约。配合力方差分析(表1)显示,除不育系单株穗数的一般配合力差异不显著外,不育系的其他性状和恢复系的所有性状的一般配合力差异均达显著或极显著水平;除单株穗数外,其他性状的组合间特殊配合力差异均极显著水平。

表1 1999年试验产量性状配合力方差分析
Table 1 Analysis of variance for combining ability of yield-trait in 1999's trial

变异来源 Source of variation	重复间 Block	组合间 Genotype	父本一般配合力 GCA of male	母本一般配合力 GCA of female	特殊配合力 SCA	机误 Error
自由度 df	2	19	3	4	12	38
X ₁	0.14	2.31*	6.52**	1.88	1.57	1.28
X ₂	0.23	9.00**	16.61**	21.43**	2.96**	214.12
X ₃	0.37	11.21**	16.04**	19.10**	4.15*	136.46
X ₄	0.49	3.35**	3.72*	3.62*	3.52**	26.36
X ₅	4.27*	39.79**	24.57**	142.83**	9.31**	0.56
Y	0.97	6.09**	6.85	7.12**	6.59**	8.74

*、**分别表示5%、1%显著水平。 Note: *、** significant at 5% and 1% level, respectively.

2001年试验方差分析(表2)也表明,组合间的差异在6个性状上均达显著或极显著水平。配合力方差(表2)分析,所有性状的一般配合力差异均达显著或极显著水平。除单株穗数和每穗总粒数二性状外,其他性状的特殊配合力差异显著。

2.2 配合力方差分量分析

表3、4分别是1999年和2001年试验参试材料各性状的恢复系和不育系一般配合力方差、组合间特殊配合力方差、群体一般配合力方差总量、特殊配合力方差总量。

从恢复系和不育系对各性状形成的作用大小看,两年试验中,只有千粒重、单株产量二性状的结果相同,均是不育系的作用大于恢复系。其他性状两年的结果正好相反。这说明,从不育系入手对千粒重、单株产量二性状的改良比从恢复系入手可能效果更好。而对其他性状的改良从恢复系和不育系入手都可能有相同的效果。

从一般配合力方差(Vg%)和特殊配合力方差(Vs%)分别占配合力总方差的比率看,每穗总粒数、千粒重、单株穗数等三性状的一般配合力方差占

绝对比例,说明这三个性状主要受亲本一般配合力影响。每穗实粒数的一般配合力方差和特殊配合力方差比较接近,说明这一性状亲本一般配合力和组合

特殊配合力作用基本相等。结实率和单株粒重两年试验结果不完全一致,但特殊配合力方差均占很大比例,说明这两个人性状受组合特殊配合力作用较显著。

表 2 2001 年试验产量性状配合力方差分析

Table 2 Analysis of variance for combining ability of yield-trait in 2001's trial

变异来源 Source of variation	重复间 Block	组合间 Genotype	父本一般配合力 GCA of male	母本一般配合力 GCA of female	特殊配合力 SCA	机误 Error
自由度 df	2	19	3	4	12	38
X ₁	0.05	2.58 *	5.40 **	5.84 **	1.21	0.85
X ₂	1.39	9.34 **	31.09 **	17.78 **	1.09	366.54
X ₃	2.09	5.43 **	15.78 **	4.45 *	4.16 *	195.95
X ₄	0.76	16.13 **	19.99 **	35.91 **	8.57 **	12.56
X ₅	0.73	32.38 **	91.73 **	110.20 **	2.07 *	0.74
Y	3.95 *	5.68 **	6.56 **	11.26 **	3.61 **	6.51

* , ** 分别表示 5% 、1% 显著水平。 Note: * , ** significant at 5% and 1% level, respectively.

表 3 1999 年试验配合力方差分量

Table 3 Components of variance for combining ability in 1999's trial

性状 Traits	δ_m^2	δ_f^2	δ_{mf}^2	Vg(%)	Vs(%)
X ₁	0.42	0.03	0.24	65.38	34.62
X ₂	194.85	329.57	139.89	78.94	21.06
X ₃	108.17	170.01	143.28	66.00	34.00
X ₄	0.49	0.30	22.14	3.45	96.55
X ₅	0.57	6.23	1.55	81.44	18.56
Y	0.72	1.07	16.21	9.94	90.06

δ_m^2 : 父本一般配合力方差; δ_f^2 : 母本一般配合力方差; δ_{mf}^2 : 特殊配合力方差; Vg(%): 一般配合力方差总量; Vs(%): 特殊配合力方差总量。

δ_m^2 : variance of GCA in male; δ_f^2 : variance of GCA in female; δ_{mf}^2 : variance of SCA; Vg(%): Total variance of GCA; Vs(%): Total variance of SCA.

表 4 2001 年试验配合力方差分量

Table 4 Components of variance for combining ability in 2001's trial

性状 Traits	δ_m^2	δ_f^2	δ_{mf}^2	Vg(%)	Vs(%)
X ₁	0.24	0.26	0.06	89.29	10.71
X ₂	733.04	509.85	10.79	99.14	0.86
X ₃	151.71	4.73	206.72	48.70	51.30
X ₄	9.56	28.61	31.69	54.64	45.36
X ₅	4.45	6.67	0.26	97.71	2.29
Y	1.60	4.15	5.66	50.44	49.56

δ_m^2 : 父本一般配合力方差; δ_f^2 : 母本一般配合力方差; δ_{mf}^2 : 特殊配合力方差; Vg(%): 一般配合力方差总量; Vs(%): 特殊配合力方差总量。

δ_m^2 : variance of GCA in male; δ_f^2 : variance of GCA in female; δ_{mf}^2 : variance of SCA; Vg(%): Total variance of GCA; Vs(%): Total variance of SCA.

2.3 亲本各性状一般配合力效应

表 5、6 表明,同一亲本的不同性状以及不同亲本的同一性状的一般配合力相对效应值是不同的。说明同一亲本的不同性状及同一性状在不同亲本(不同遗传背景)中的遗传特性都存在差异。1999 年试验中,K1405S 千粒重、单株穗数一般配合力高,其他性状的一般配合力较低; 培矮 64S 仅穗粒数的一般配合力高; 安湘 S 单株穗数和结实率一般配合力高,穗粒数、千粒重、单株产量一般配合力低; 珍汕 97A 的每穗总粒数、每穗实粒数、千粒重及单株粒重四性状,龙特浦 A 的每穗总粒数、每穗实粒数、结实率及单株粒重四性状的一般配合力相对效应值都较高,这两个三系不育系的综合经济性状较好,用它们配组较容易获得综合性状好、产量高的杂交组合。恢复系中,明恢 63 除了穗粒数外,直龙除了单株穗数外,它们的其他性状,尤其是单株粒重一般配合力较高,利用它们配组容易获得高产组合; 桂 99、桂 33 两恢复系所有性状一般配合力均较低。

2001 年试验中,龙特浦 A 的每穗实粒数、结实率、千粒重、单株粒重和 K18A 的单株穗数、结实率、千粒重、单株粒重的一般配合力高; 六 A 仅是穗粒数有优势,其他性状的一般配合力较低; 绮 A 单株穗数一般配合力高,千粒重及单株粒重一般配合力低; 浙农 8010A 每穗实粒数、结实率一般配合力高,每穗总粒数、千粒重和单株粒重一般配合力低。恢复系 1025 的单株穗数、每穗总粒数、每穗实粒数、结实率、单株粒重五性状一般配合力高,仅千粒重一般配合力低; 明恢 63 的优点仍在单株穗数及千粒重上,单株粒重一般配合力也较高; 128 所有性状一般

配合力均较低;938 除穗粒数外,其它性状的一般配合力较低。

2.4 组合间特殊配合力分析

从表 7、8 表可看出,同一组合不同性状间,以及不同组合的同一性状的特殊配合力效应表现显著的差异。另外,组合的特殊配合力效应与其亲本的一般配合力效应并不对应,亲本一般配合力高的性状,其组合特殊配合力不一定高;亲本一般配合力低的性状,其组合特殊配合力也并不一定就低。以单株

粒重为例,K1405S、桂 99、六 A、938 的一般配合力均很低,用它们配制的组合 K1405S/桂 99、六 A/938 的特殊一般配合力相对效应值却很高;而一般配合力效应较高的龙特浦 A、直龙、K18A、明恢 63 配制的杂交组合龙特浦 A/直龙、K18A/明恢 63 的特殊配合力效应却很低。但是,亲本一般配合力低而特殊配合力高的组合,与亲本一般配合力高而特殊配合力低的组合一样,它们的实际产量均不高。只有那些特殊配合力高,且其双亲一般配合力都高

表 5 1999 年试验各亲本 6 个性状一般配合力相对效应值(%)

Table 5 Relative values (%) of GCA in each parent for 6 traits in 1999's trial

亲本 Parents	性状 Traits					
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	Y
K1405S	1.80	-12.26	-17.82	-6.13	14.12	-7.91
培矮 64S Pei'ai 64S	-1.95	14.51	15.50	0.27	-14.66	-0.38
安湘 S An'xiang S	3.00	-11.96	-8.72	4.16	-0.65	-5.70
珍汕 97A Zhenshan 97A	3.00	1.90	1.91	-0.15	2.41	10.15
龙特浦 A Longtepua A	-5.85	7.82	9.13	1.85	-1.23	3.84
桂 99 Gui 99	-2.26	-2.41	-2.83	-0.11	-4.00	-8.27
明恢 63 Minghui 63	8.95	-9.02	-7.46	2.75	5.19	5.32
桂 33 Gui 33	2.42	-1.64	-6.11	-4.86	-0.71	-2.55
直龙 Zhilong	-9.11	13.07	16.40	2.22	-0.48	5.50

表 6 2001 年试验各亲本 6 个性状一般配合力相对效应值(%)

Table 6 Relative values (%) of GCA in each parent for 6 traits in 2001's trial

亲本 Parents	性状 Traits					
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	Y
龙特浦 A Longtepua A	-4.01	-2.35	0.65	2.14	6.69	5.09
K18A	0.92	-6.12	-1.42	3.98	10.79	12.43
六 A Liu A	-9.05	20.17	3.19	-15.53	-3.24	-7.13
绮 A Qi A	12.55	-7.47	-4.32	2.05	-12.57	-6.86
浙农 8010A Zhenong 8010A	-0.41	-4.23	1.90	5.36	-1.67	-3.53
1025	1.24	4.18	6.28	1.75	-5.19	5.09
明恢 63 Minghui 63	7.41	-18.06	-12.92	5.22	12.43	4.50
128	0.41	-0.41	0.86	0.07	-0.41	-5.21
938	-9.06	14.29	5.78	-7.04	-6.83	-4.38

的组合(如汕优 63、汕优直龙)或至少双亲之一一般配合力高的组合(如 K18A/128、特优 128)才是真正高产组合。其他性状的特点也是如此。

3 讨 论

3.1 一般配合力和特殊配合力的关系及相对重要性

与前人的研究结果(朱雄涛等,1994;周开达等,1982;何予卿等,1995;李行润等,1990;陆作楣,1999)相同,本试验结果表明,杂交水稻双亲的一般配合力和组合的特殊配合力是相互独立的。某一亲本或两亲本的某一性状的一般配合力高,其配组的

这一性状的特殊配合力效应不一定高;某一亲本或两亲本的某一性状一般配合力低,其配组后这一性状的特殊配合力效应也不一定低;而特殊配合力高的组合,其亲本的一般配合力不一定就高。

本研究结果还表明,杂交水稻的产量及其他经济性状的表现同时受不育系和恢复系的一般配合力和组合特殊配合力效应的共同作用,但不同性状这两者的相对重要性不同,与陆作楣(1999)、周开达(1982)、何予卿(1995)等的研究结果基本相同。只有当两亲本或亲本之一具有高的一般配合力,且组合特殊配合力也高时,才具有较高的产量潜力。倘若利用两个一般配合力都低的亲本配组,即使其具

有较高的特殊配合力效应,有较强的超亲优势,也难具有较强的竞争优势,在生产上不一定有实用意义。从这一意义上说,作物杂种优势利用,亲本一般配合

力高是前提和基础,特殊配合力好是关键。合理利用一般配合力高的亲本,是提高组合总配合力,获得强优势杂种的有效途径。

表 7 1999 年试验 6 个性状特殊配合力相对效应值(%)和实际单株产量(g)
Table 7 Relative values (%) of SCA for 6 traits and the real yield (g) in 1999's trial

母本 Females	父本 Males	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	Y	Yield (g)
K1405S	桂 99 Gui 99	9.12	3.41	0.61	4.29	-0.88	12.46	25.6
	明恢 63 Minghui 63	6.20	-5.92	-4.78	4.13	2.07	-3.48	25.0
	桂 33 Gui 33	-11.15	8.68	7.72	-1.82	-2.43	-2.63	23.2
	直龙 Zhilong	-4.17	0.65	-2.55	-6.60	1.26	-6.35	24.3
培矮 64S Pei'ai 64S	桂 99 Gui 99	-6.25	-8.22	-10.25	-1.85	4.70	-11.75	21.1
	明恢 63 Minghui 63	6.18	-1.80	-9.20	-7.56	1.15	-2.62	27.2
	桂 33 Gui 33	6.18	-7.83	-3.52	5.64	0.40	6.46	27.5
	直龙 Zhilong	-6.11	17.85	22.97	3.77	-6.25	7.91	30.0
安湘 S AnxiangS	桂 99 Gui 99	1.09	7.58	8.41	1.19	-2.40	7.12	24.8
	明恢 63 Minghui 63	5.13	0.97	-0.96	-1.80	-7.56	0.85	26.7
	桂 33 Gui 33	-4.07	-4.91	-13.98	-11.03	9.12	-13.58	20.8
	直龙 Zhilong	-2.15	-3.64	6.53	11.64	0.84	5.61	28.3
珍汕 97A Zhenshan 97A	桂 99 Gui 99	-8.11	-3.00	-7.40	-4.85	-2.30	-19.24	22.0
	明恢 63 Minghui 63	-9.02	5.40	12.88	6.42	-0.86	5.30	32.1
	桂 33 Gui 33	6.05	6.90	1.93	-4.41	1.15	5.61	30.1
	直龙 Zhilong	11.08	-9.32	-7.41	2.84	2.01	8.33	32.9
	龙特浦 A Longtepu A	4.13	8.62	8.61	0.98	0.19	11.60	28.6
	明恢 63 Minghui 63	-8.50	2.01	2.05	-0.93	5.60	0.28	29.1
	桂 33 Gui 33	3.25	7.70	7.72	11.40	-8.19	4.00	28.1
	直龙 Zhilong	1.12	-18.35	-18.38	-11.45	2.40	-15.88	25.0

表 8 2001 年试验 6 个性状特殊配合力相对效应值(%)和实际单株产量(g)
Table 8 Relative values (%) of SCA for 6 traits and the real yield (g) in 2001's trial

母本 Females	父本 Males	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	Y	Yield(g)
龙特浦 A Longtepu A	1025	-4.11	2.98	2.04	-0.84	-0.68	-3.20	30.1
	明恢 63 Minghui 63	-0.41	-6.08	-8.70	-1.47	-1.09	-13.24	27.2
	128	2.87	3.59	3.17	0.21	-0.82	10.89	31.2
	938	1.65	-0.49	3.49	2.10	2.59	5.55	29.9
K18A	1025	-3.29	-1.56	-3.67	-2.05	-0.99	-7.34	31.0
	明恢 63 Minghui 63	0.82	-1.90	-5.84	-2.56	0.82	-5.44	31.4
	128	1.65	4.85	4.59	0.34	2.46	10.77	33.2
	938	0.82	-1.39	4.92	4.27	-2.29	2.01	31.0
六 A Liu A	1025	4.63	4.54	4.90	-0.55	-0.96	7.46	29.7
	明恢 63 Minghui 63	-3.50	-0.56	10.66	6.56	0.96	12.66	31.0
	128	7.88	-8.38	6.61	11.65	0.82	-4.85	23.3
	938	-9.01	4.40	-22.17	-17.66	-0.82	15.17	20.6
绮 A Qi A	1025	-4.53	3.78	6.99	3.39	2.05	1.54	28.1
	明恢 63 Minghui 63	1.65	0.24	-2.80	-1.84	3.01	-0.48	27.4
	128	0.41	-0.38	-8.13	-6.83	-4.10	-8.28	22.4
	938	2.47	-3.64	3.94	5.28	-0.96	7.22	27.1
浙农 8010A Zhenong 8010A	1025	7.41	-9.55	-10.30	0.08	0.55	1.66	29.1
	明恢 63 Minghui 63	1.65	8.22	6.69	-0.65	-3.58	6.54	30.3
	128	2.88	0.31	-6.22	-5.46	1.50	-8.52	23.3
	938	-11.94	1.02	9.83	6.03	1.50	0.32	26.0

3.2 参试材料群体遗传组成与育种策略

本研究结果表明,千粒重、每穗总粒数、单株穗

数三性状均以一般配合力方差较特殊配合力方差重要,对这些性状应特别重视亲本的选择。而单株产

量、结实率、每穗实粒数三性状的特殊配合力方差与一般配合力方差同样重要,或特殊配合力方差更重要些。对这三个性状除了重视亲本选择外,更应该加强对组合的评鉴工作。

本试验中,不育系对千粒重、单株产量两性状的作用大于恢复系。可以说,在当前恢复系主要依靠东南亚恢源,没有找到其他新质源之前,对不育系进行改良以选育强优势高产组合的效果更佳。育种工作者近期内应把杂交水稻育种的工作重点放在不育系的改良选育上。

3.3 关于利用配合力预测杂种优势的问题

何予卿(1995)、周开达(1982)、李行润(1990)、朱雄涛(1994)等认为可以利用亲本一般配合力总效应或配合力总效应预测杂种优势。本研究表明,亲本的一般配合力效应可以测定,但一般配合力高的亲本配组其特殊配合力效应不一定高,杂种优势不一定强。只有那些亲本一般配合力高、组合特殊配合力也高的杂交组合才具有真正的杂种优势。但对某一特定组合而言,其特殊配合力效应是特定配组后才能测定,无法预测,因此不可能利用配合力预测杂种优势。其实,配合力的测定,其目的是评价亲本,预测亲本的应用前景。只有那些自身一般配合力高,与其他亲本配组又容易表现较高特殊配合力效应的亲本才是最好的亲本,才会有广阔的应用前

景。

参考文献:

- 马育华. 1982. 植物育种的数量遗传学基础 [M]. 南京: 江苏科学技术出版社, 280—437.
- 刘来福, 毛盛贤, 黄远樟. 1984. 作物数量遗传 [M]. 北京: 农业出版社, 110—284.
- 朱雄涛, 雷捷成, 林伟峰. 1994. 杂交稻主要农艺性状的配合力和遗传力分析 [J]. 福建稻麦科技, 12 (4): 11—17.
- 周开达, 黎汉云, 李仁端, 等. 1982. 杂交水稻主要性状配合力、遗传力的初步研究 [J]. 作物学报, 8 (3): 145—151.
- He YQ (何予卿), Qi HX (戚华雄), Wang CY (王长义). 1995. Evaluating the combining ability of two-line hybrid in Japonica rice (两系杂交梗稻主要亲本配合力测定) [J]. *Journal of Huazhong Agricultural University* (华中农业大学学报), 14 (3): 220—224.
- Li XR (李行润), Huang QY (黄清阳), Hua L (华琳). 1990. Analysis of the combining ability of the photoperiod sensitive genic male-sterile lines of Japonica rice (梗型光敏核不育系的配合力分析) [J]. *Journal of Huazhong Agricultural University* (华中农业大学学报), 9 (4): 429—434.
- Lu ZM (陆作楣). 1999. On the combining ability selection in hybrid rice (论杂交水稻育种的配合力选择) [J]. *Chinese Journal Rice Science* (中国水稻科学), 13 (1): 1—5.

(上接第 85 页 Continue from page 85)

- site characteristics on nitrogen retranslocation from senescing leaves[J]. *Ecology*, 65(2): 339—353.
- Huang JJ(黄建军), Wang XH(王希华). 2003. Leaf nutrient and structural characteristics of 32 evergreen broad-leaved species(32 种常绿阔叶树叶片的营养、结构特征) [J]. *Journal of East China Normal University*(华东师范大学学报), 1: 76—79.
- Killingbeck KT. 1996. Nutrient in senesced leaves: keys to the search for potential resorption and resorption proficiency[J]. *Ecology*, 77: 1 716—1 727.
- May JD, Killingbeck KT. 1992. Effects of preventing nutrient resorption on plant fitness and foliar nutrient dynamics [J]. *Ecology*, 73: 1 868—1 878.
- Pugnaire, Francisco I, Chapin III FS. 1993. Controls over nutrient resorption from leaves of evergreen mediterranean species[J]. *Ecology*, 74(1): 124—129.
- Shen SM(沈善敏), Yu WT(宇万太), Zhang L(张潞), et al. 1992a. Internal and external nutrient cycling of poplar tree I. Transferring and cycling of nutrients in and out of tree before and after leaf fallen(杨树主要营养元素内循环及外循环研究 I. 落叶前后各部位养分浓度及养分储量变化)[J]. *Chin J Appl Ecol*(应用生态学报), 3(4): 296—361.
- Shen SM(沈善敏), Yu WT(宇万太), Zhang L(张潞), et al. 1992b. Internal and external nutrient cycling of poplar tree II. Transferring and cycling of nutrients in and out of tree before and after leaf fallen(杨树主要营养元素内循环及外循环研究 II. 落叶前后各养分在植株体内外的迁移和循环)[J]. *Chin J Appl Ecol*(应用生态学报), 4(1): 27—31.
- Xu FY(徐富余), Wang LH(王力华), Li PZ(李培芝), et al. 1997. Internal and external nutrient transfers in foliage of some north deciduous trees I. Changes of nutrient concentration and contents(若干北方落叶树片养分的内外迁移 I 浓度和含量的变化)[J]. *Chin J Appl Ecol*(应用生态学报), 8(1): 1—6.