

春小麦竞争能力与产量的关系

董珑丽 ,魏茶花 ,马晓娟 ,张 荣*

(兰州大学干旱与草地生态教育部重点实验室 ,兰州大学 ,兰州 730000)

摘要 :采用 de Wit 替代系列实验确定了 4 个春小麦品种混播时的竞争能力与单播产量之间的关系。4 个春小麦品种竞争能力由强到弱的排序依次为定西-24、和尚头、陇春-8139 和高原-602。各品种单播时产量由高到低的排序依次为现代品种定西-24、陇春-8139、高原-602 与地方品种和尚头。该结果表明 ,以优化个体适合度为目标的自然选择 ,导致个体竞争能力提高、繁殖分配下降 ,因而产生 ‘生长冗余’及群体表现下降。现代小麦育种通过降低竞争能力 ,剔除生长冗余 ,可以提高小麦单位面积产量 (如地方品种和尚头与现代品种高原-602 和陇春-8139 的比较)。然而 ,如果现代小麦育种可以同时提高收获指数和地上生物量 (如现代品种定西-24 与陇春-8139 和高原-602 的比较) ,那么具有相对较高竞争能力的品种仍然可望获得较高产量 ,其前提是具有较高竞争能力的育成品种有着较高的收获指数。因此 ,春小麦品种的个体竞争能力并不必然地与产量相关 ,当选育的品种可以使竞争能力与收获指数同步提高 ,或者伴随着竞争能力的提高 ,收获指数具有更大幅度的提高 ,仍然可以获得高产。半干旱地区作物育种应集中于收获指数和地上生物量的同时提高。

关键词 :竞争能力 ;理想株型 ;籽实产量 ;收获指数 ;生长冗余 ;春小麦

文章编号 :1000-0933 (2007)10-4203-06 中图分类号 :Q948 ,S512.2 文献标识码 :A

The relationship between competitive ability and productive performance of spring wheat cultivars

DONG Long-Li , WEI Cha-Hua , MA Xiao-Juan , ZHANG Rong*
Key Lab of Arid and Grassland Ecology , the Ministry of Education , Lanzhou University , Lanzhou 730000
Acta Ecologica Sinica 2007 27 (10) 4203 ~ 4208.

Abstract : de Wit series experiments were conducted to determine the relative competitive ability and grain yields of four spring wheat varieties which include landrace Heshangtou and the modern varieties Longchun- 8139 , Dingxi- 24 and Gaoyuan-602. Various pairs of varieties were grown in a mixed fashion and were compared with monoculture. The experiments were conducted in 2005 on the semiarid area of Loess Plateau , Gansu Province , China. Dingxi-24 had highest competitive ability , followed by Heshangtou , Longchun-8139 and Gaoyuan-602 in decreasing order , while yield ranged from the higher varieties of Dingxi-24 , Longchun-8139 , Gaoyuan-602 to lower landrace Heshangtou. The results showed that the varieties with higher competitive ability produced lower yield when the landrace Heshangtou were compared with the modern varieties Lonchun-8139 and Gaoyuan-602 , but when a comparison was made among the modern varieties Dingxi- 24 , Longchun-8139 and Gaoyuan-602 , the varieties with higher competitive ability had higher seed yield. The results showed that natural selection aiming at maximization of individual fitness by increase in competitive ability resulted in

基金项目 :甘肃省自然科学基金资助项目 (ZS031-A25-037-D) ,国家重点基础研究发展规划资助项目 (Q000018603)
收稿日期 2006-08-28 ;修订日期 2007-03-02
作者简介 董珑丽 (1978 ~) ,女 ,甘肃天水人 ,硕士 ,主要从事农业生态学研究. E-mail :dongll04@lzu. cn
* 通讯作者 Corresponding author. E-mail :rongz@lzu. edu. cn
Foundation item :The project was financially supported by the Natural Science Foundation of Gansu Province (No. ZS031-A25-037-D) and the National Key Programme for Basic Sciences , China (No. 2000018603)
Received date 2006-08-28 ; **Accepted date** 2007-03-02
Biography :DONG Long-Li , Master , mainly engaged in agroecology. E-mail :dongll04@lzu. cn

growth redundancy , with the more resources being invested into the competitive organs at the expense of the reproductive organs. The implications are that shifting resources into reproductive organs by reducing competitive ability through crop breeding can increase wheat production under certain environments , which is consistent with Donald's ideotype. The reverse results revealed that if more resources were simultaneously invested into reproductive and competitive organs , the bred varieties can also perform better than varieties with lower competitive ability. Our results indicate that competitive ability is not necessarily correlated with seed yield and the key to increase yield is to develop varieties with higher harvest indices and total biomass. Natural selection aiming at maximization of individual fitness would inevitably result in occurrence of redundancy particularly in the case where more resources were partitioned into the competitive organs. Therefore , competitive ability is not the single criterion of crop breeding as Donald has proposed. Wheat breeding in semiarid areas should focus on the improvement of harvest index and increase of aboveground biomass.

Key Words : competitive ability ; ideotype ; grain yield ; harvest index ; growth redundancy ; spring wheat

增加单位面积产量是作物育种的最主要目标^[1]。基于该目标 ,育种学家通常选择一些单株生物量更大、繁殖后代数更多、单株表现最佳的个体作为育种选择的目标。然而作物生产是一个种群的过程而非个体的表现^[2] ,单株表现最佳的个体组成的群体由于植株间存在强烈的相互竞争 ,导致个体间存在严重的生物胁迫而使群体表现下降。Donald^[3~5]首先注意到这个问题 ,提出谷类作物育种的新思路 ,其核心内容是以群体表现为目标选育理想株型 ,即在杂草得到有效控制的条件下 ,高产作物应为弱竞争能力的理想株型 ,如矮秆、小根系、高收获指数^[3~5]。竞争能力是变换环境条件下每一物种个体适合度优化过程中个体对共享资源的利用能力。竞争能力是决定个体占有资源、存活、生长和繁殖的重要保证。单一生物种群中竞争能力强的个体比竞争能力弱的个体获得更多的资源 ,个体大小 (生物量)更大、繁殖后代数更多^[6~8] ,即种群中强竞争能力个体拥有高适合度。尽管 Donald 的理想株型受到广泛的关注 ,但并未获得育种学家的普遍接受^[9]。张大勇^[10]发展了 Donald 的理论 ,提出为避免语义学混淆 ,用 ‘生长冗余’来替换 ‘弱竞争者’的概念 ,以便明确表明植物削减竞争能力可以增加产量的机制 ,冗余是指对目标产量输出构成影响的各种水平的生物有机体过多或过于庞大的部分^[8]。许多研究表明通过剔除作物生长冗余 ,降低作物品种竞争能力可以提高作物产量^[9~11] ,然而也有研究表明 ‘弱竞争者’并不是群体产量上表现的最优者^[12]。本研究目的在于进一步确定各品种在混播条件下的竞争能力与单播条件下的产量之间存在的各种关系 ,揭示生长冗余产生的进化生态学机理 ,以期为半干旱地区春小麦育种提供理论指导。

1 材料与方法

1.1 实验区概况

实验于 2005 年 3 月到 9 月在兰州大学黄土高原实验基地进行 (东经 104°25' ,北纬 36°2' ,海拔 2400m)。该区属典型的黄土高原半干旱气候类型 ,是甘肃中部最干旱的旱作农业区之一。实验点设在中连川乡中连川村 ,位于甘肃省榆中县北部的中连川小流域 ,为典型的黄土缓坡丘陵地区。年均降水量为 395mm ,7~9 月降水量占年降水量的 56% ,水面年蒸发量为 1326mm ,年均气温 6.5℃ ,一月平均气温 -8℃ ,7 月份平均气温 19℃ ,年平均无霜期 100d。土壤类型主要为黑麻土 (阴坡、半阴坡及沟谷)和灰钙土 (阳坡及半阳坡)。属典型雨养农业区。当地主要作物有春小麦、马铃薯、豌豆、胡麻等。

1.2 实验材料与方法

1.2.1 材料

本实验选用由甘肃省农科院旱地农业实验站提供的春小麦品种陇春-8139、高原-602、定西-24 以及地方品种和尚头。和尚头代表了进化上较为完善的古老品种 ,具有对干旱环境较强的适应能力 ,20 世纪 50 年代以前有较大范围种植。陇春-8139 于 1990 年育成 ,为早熟的干旱高效适应型品种。高原-602 于 20 世纪 80 年代中期引入甘肃省 ,表现为丰产、早熟、耐旱、抗锈、适应性广等特点。定西-24 为 20 世纪 70 年代育成的较为

抗旱的晚熟品种 ,在当地作为主要的品种大面积种植。

1.2.2 实验方法

本实验采用替代系列法研究两春小麦品种的竞争能力与竞争结局^[13] ,即在保持总播种密度不变的情况下 ,使两个供试品种在播种比例上发生变化 ,然后比较输入、输出比例即可推测各品种的竞争能力与竞争结局。和尚头、陇春-8139、高原-602 以及定西-24 分别两两混播 ,四个品种两两之间共形成六个 de Wit 替代系列组合 ,每个组合内两品种 S_1 、 S_2 分别按 100% S_2 ,25% S_1 + 75% S_2 ,50% S_1 + 50% S_2 ,75% S_1 + 25% S_2 ,100% S_1 5 个处理播种 ,本实验采用当地常规播种密度 600 粒/ m^2 ,随机区组实验设计 ,小区面积 2m × 2m ,每个处理设 3 个重复。采用条播播种方式 ,行间距 20cm ,播种深度约为 5cm。播种前将 de Wit 替代系列各组合中的两个品种的种子充分混合 ,再行播种。尿素施用量 182.5kg·hm⁻² ,磷二胺 162.5kg·hm⁻²。

收获时于小区中间取 1.0m² 样方分别测定各小麦品种的地上生物量、经济产量、千粒重、分蘖数及穗数等。为避免田间杂草对实验的影响 ,对所有实验小区随时进行人工除杂 ,其它按当地实际进行管理。

1.2.3 数据处理

采用 SPSS12.0 统计软件进行单因素方差分析 ,不同处理之间多重比较采用 LSD (Least-significant different)方法 ,然后进行 t 检验以确定差异的显著性。

2 结果与分析

2.1 单、混播条件下的籽实产量

单播条件下 ,现代品种陇春-8139、高原-602、定西-24 均较传统地方品种和尚头具有更高的产量 ,定西-24 单播产量最高。混播条件下 ,陇春-8139 和高原-602 受到了和尚头与定西-24 的强烈抑制。在和尚头与高原-602 的替代系列实验中 (图 1a)和尚头的播种比例为 0.25 时 ,两者的产量已经接近 ,比例约为 0.5 时 ,和尚头产量远远高于高原-602 ,两者的产量比例约为 3:1。在和尚头与陇春-8139 的替代系列实验中 (图 1b)和尚头的播种比例为 0.25 时 ,和尚头的产量已接近陇春-8139 ,比例为 0.5 时 ,和尚头的产量远远高于陇春-8139 ;在和尚头与定西-24 的替代系列混播实验中 (图 1c)和尚头播种比例为 0.25 时 ,和尚头对定西-24 的产量比约为 1:3 ,比例为 0.5 时 ,定西-24 对和尚头的产量比例大于 1.0。在定西-24 对陇春-8139 以及定西-24 对高原-602 的替代系列实验中 (图 1d 、e) ,定西-24 对陇春-8139 及高原-602 均产生了严重的胁迫 ,严重影响了此二品种在替代系列中的产量表现。由陇春-8139 及高原-602 对和尚头、定西-24 混播时的产量胁迫程度 (图 1a 、b ,d 、e) ,推断陇春-8139 的竞争能力较高原-602 强。

由 de Wit 替代系列实验 ,得到各品种单播时的产量。其产量由高到低顺序依次为定西-24、陇春-8139、高原-602 和尚头。单播条件下 ,定西-24 的千粒重、地上生物量、收获指数、株粒数均较高 ,所以其产量显著高于其它 3 个测试品种。和尚头除株高显著高于其它品种外 ,其产量构成中单株粒数显著低于其它品种 ,千粒重也显著地低于陇春-8139 和定西-24。收获指数低于高原-602 ($p > 0.05$) ,显著低于陇春-8139 和定西-24。虽然其有效分蘖较高 ,但产量并未因此而提高。高原-602 虽然具有较之和尚头更高的收获指数 ,但由于其地上总生物量显著低于和尚头 ,因此其并没有显著高的产量优势。陇春-8139 与和尚头的地上生物量无显著差别 ,但由于它具显著高于和尚头的收获指数 ,因此其产量也显著高于和尚头 (表 1)。

2.2 竞争的结局

输入比率和输出比率的计测可用不同的指标 ,本实验采用籽粒数作为指标。两个品种之间的竞争有 4 种可能的结局 : (1)品种 S_1 排除 S_2 ,在这种情况下 S_1 对 S_2 的输入比小于其输出比 ,输入/输出比的直线与平衡线平行 ,并位于其上 ; (2) S_2 品种排除 S_1 ,当 S_1 对 S_2 的输入比大于其输出比时 ,两者在各个比例下的输入/输出比直线在平衡线的下方 , S_2 排除 S_1 ; (3)品种 S_1 与 S_2 达到一种稳定的平衡 ,输入/输出比直线与平衡线相交 ,斜率小于 45° ,因为自平衡点的外移将会因种群竞争而受到阻抑 ,种群移回到平衡点 ; (4) S_1 与 S_2 的不稳定平衡 ,输入/输出比直线与平衡线相交 ,斜率大于 45° ,平衡点是不稳定的 ,因为自平衡点的外移将导致远离平衡态 ,于是一个种将衰退以至消失^[14]。

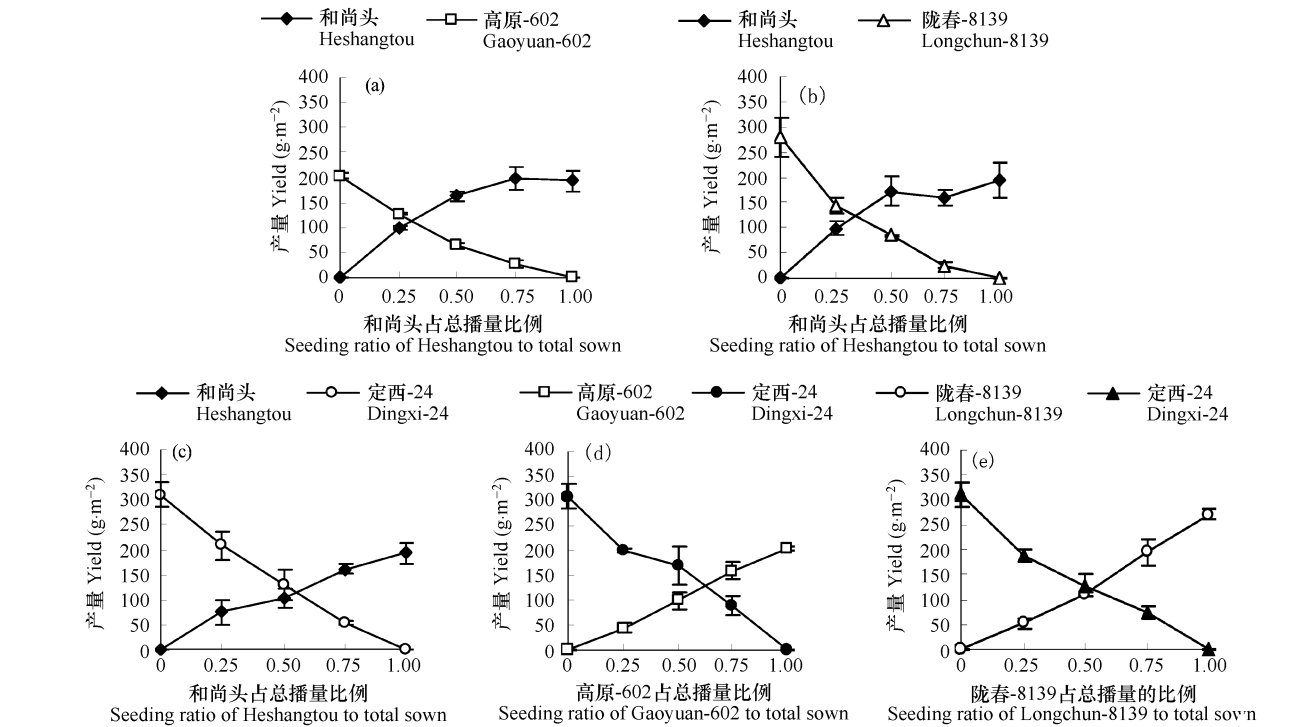


图1 4个春小麦品种的 de Wit 替代系列实验结果

Fig. 1 Results of four spring wheat varieties in de Wit series replacement experiments
(a)和尚头对高原-602,(b)和尚头对陇春-8139,(c)和尚头对定西-24,(d)高原-602 对定西-24 以及 (e)陇春-8139 对定西-24 的 de Wit 替代系列实验
(a) Heshangtou vs. Gaoyuan-602,(b) Heshangtou vs. Longchun-8139,(c) Heshangtou vs. Dingxi-24,(d)Gaoyuan-602 vs. Dingxi-24 and (e) Longchun-8139 vs. Dingxi-24 in de Wit series replacement experiments

表1 不同品种单播条件下的地上生物量、株高、产量和产量构成

Table 1 Aboveground biomass ,plant height ,yield and yield components of different varieties in monoculture							
品种 Varieties	地上总生物量 Aboveground biomass (g·m ⁻²)	收获指数 Harvest index	产量 Yield (g·m ⁻²)	株高 Plant height (cm)	有效分蘖数 Effective tillers	千粒重 1000-grain weight (g)	株粒数 Grains per plant
和尚头 Heshangtou	712.0 ± 88.8a	0.27 ± 0.07a	192.9 ± 21.6a	92.0 ± 12.2a	0.50 ± 0.71a	34.1 ± 4.6a	24.4 ± 13.6a
高原-602 Gaoyuan-602	601.5 ± 87.9b	0.34 ± 0.02ab	203.4 ± 5.0a	70.0 ± 9.1b	0.30 ± 0.61ab	30.3 ± 4.2b	33.7 ± 18.0b
陇春-8139 Longchun-8139	735.8 ± 98.8ac	0.37 ± 0.03b	271.1 ± 9.2b	75.3 ± 10.1c	0.22 ± 0.72ab	38.3 ± 1.5c	35.3 ± 25.3b
定西-24Dingxi-24	834.1 ± 130.2c	0.37 ± 0.01b	309.3 ± 24.1c	76.3 ± 12.6c	0.14 ± 0.44b	38.5 ± 2.8c	33.2 ± 17.5b

平均值 ± 标准误 ,同列不同字母表示处理间存在显著差异 ,LSD 多重比较 ,显著水平 0.05
Mean ± SE ;Winthin a column ,means followed by different letters were significantly different at level of 0.05 ,LSD multiple comparison tests were used

在和尚头对陇春-8139、和尚头对高原-602 的替代系列组合实验中 (图 2) ,输出比均高于输入比 ,根据输入输出比模型 ,该结果表明 ,两组合春小麦品种之间的竞争结局为古老品种和尚头最终将完全排除陇春-8139、高原-602 成为竞争中的优胜者 ,陇春-8139、高原-602 将在竞争过程中被淘汰 ;在定西-24 与高原-602、定西-24 与陇春-8139 的替代系列实验中 ,输出比均高于输入比 ,则竞争结局分别为定西-24 最终将完全排除高原-602、陇春-8139 ,成为竞争的优胜者 ,陇春-8139、高原-602 将在竞争中 被淘汰 ;在定西-24 与和尚头的替代实验中 ,和尚头的输入比例在 0.25、0.75 时 ,其输出比与平衡线上相应的点无显著差异 ,和尚头的输入比例在 0.5 时 ,其输入比明显小于输出比 ,可以认为定西-24 有着较和尚头强的竞争能力。由此 ,可以推断 4 个春

小麦品种的竞争能力由强到弱的顺序为定西-24、和尚头、陇春-8139 和高原-602。

3 讨论

de Wit 替代系列实验结果表明,现代春小麦品种定西-24 与地方品种和尚头具有较之现代品种陇春-8139 和高原-602 更强的竞争能力。各品种的竞争能力从强到弱依次为定西-24、和尚头、陇春-8139 和高原 602 ,而产量从高到低依次为定西-24、陇春-8139、高原-602 与和尚头。

当和尚头与陇春-8139 或高原-602 比较时,竞争能力越强,则单播产量越低(图 1)。该结果表明,优化个体适合度的自然选择提高了传统地方品种和尚头的竞争能力,其结果是伴随着竞争能力的提高,更多有限的资源投入到有利于竞争能力提高的器官中去,如茎秆高度的提高、根系的扩展等方面^[15,16]。而现代育成品种,由于改变了资源投入或者资源分配的格局,将更多的有限资源投入到繁殖器官中去,从而提高了小麦品种的收获指数^[4,5,9~11]。在此,弱竞争者理想株型成为小麦育种的一种取向,因为降低自然选择导致的强竞争能力,为有限资源投入到繁殖器官提供了可能。现代品种与传统地方品种相比较,收获指数有很大的提高,并且其单播条件下产量和收获指数均高于具有强竞争能力的地方品种。如果说自然选择过程所导致的强竞争能力形成了种群水平上的生长冗余的话^[8,10,11,17],那么以单位面积产量为目标的育种选择可以剔除自然选择过程产生的生长冗余而获得高产^[5,18~20]。如果这种冗余表现在竞争能力的提高上,那么通过剔除或减少与竞争能力相联系的冗余可望实现群体的最佳表现,这与 Donald 的理想株型一致。

当将现代品种定西-24 与陇春-8139 和高原-602 进行比较时,竞争能力最强的品种定西-24 表现出更高的籽实生产能力。该结果表明混播中竞争能力越强,单播籽实产量越高。这形成了与上述结果完全相悖的结论,即强竞争能力的品种可以具有更高的单播产量。该结果表明,经过自然选择过程所导致的地方品种竞争能力与人类作物育种过程所形成的竞争能力对春小麦产量的形成产生了不同的效应,或者说竞争能力与产量之间没有固定的因果关系。这一结果与 Donald 的弱竞争者理想株型的育种指标相矛盾。本研究结果显示,高产品种定西-24 同时具有较高的收获指数和竞争能力。定西-24 的强竞争能力是由其较高的地上生物量实现的,而其高产是由较高的地上生物量和收获指数共同决定的。Rasmusson 对大麦理想株型的 14 个性状研究也表明强竞争能力品种可获得高产^[12]。某些育成现代品种的收获指数较高、与强竞争能力相关的植株地上生物量也较大^[21,22]。由于这些品种的个体竞争能力的提高所表现的根、茎、叶等营养器官生物量的增加,是伴随着收获指数恒定或更大幅度提高发生的,因此,高竞争能力的品种可以获得较高的籽实产量。

单位面积产量是收获指数与地上生物量之积。如果通过育种降低竞争能力提高单株收获指数导致的产量提高,不足以补偿由于个体竞争能力降低而导致群体地上生物量下降所造成的籽实产量降低(图 1,表 1),那么通过降低竞争能力提高收获指数的育种途径仍然不能实现单位面积的高产,因为提高收获指数不能补偿生物量降低导致的产量降低。如果育种选择的小麦品种可以同时地提高收获指数以及与竞争能力正相关的地上生物量,那么,选育具有强竞争能力的高收获指数品种就可能实现单位面积的高产(表 1)。

综合上述,籽实作物产量依赖于收获指数与地上生物量。如果竞争能力的提高是以降低收获指数为代价

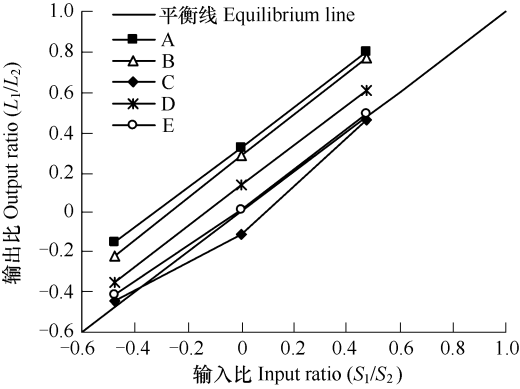


图 2 de Wit 替代系列实验中对春小麦品种 S_1 与 S_2 竞争结局

Fig.2 The input ratio and output ratio (on log scale) of varieties S_1 to S_2 grains number in de Wit replacement series experiments

S_1 与 S_2 依次分别代表 (A)和尚头对陇春-8139, (B)和尚头对高原-602, (C)和尚头对定西-24, (D)定西-24 对高原-602, (E)定西-24 对陇春-8139 de Wit 替代系列中的两个成对春小麦品种。输入、输出比均为对数尺度。Here S_1 and S_2 represent (A) Heshangtou vs. Longchun-8139, (B) Heshangtou vs. Gaoyuan-602, (C) Heshangtou vs. Dingxi-24, (D) Dingxi-24 vs. Gaoyuan-602 and (E) Dingxi-24 vs. Longchun-8139 respectively, on logarithmic scale

的 ,那么 ,通过降低竞争能力或者减少生长冗余、提高收获指数的育种途径可望获得产量的提高。相反地 ,如果通过育种手段可以同时提高竞争能力和收获指数 ,那么通过提高竞争能力获得更大生物量的品种选育方法仍不失为有效的育种途径。因此 ,育种目标应当集中于收获指数与地上生物量的提高方面 ,而非竞争能力或收获指数本身。

References :

[1] Evans L T. Crop Evolution , Adaptation , and Yield. Cambridge : Cambridge University Press , 1993. 500.

[2] Weiner J. Plant population ecology in agriculture. In : Carroll C R. , Vandermeer J H & Rosset P eds. Agroecology. New York : McGraw-Hill Publishing Company , 1990. 235 — 262.

[3] Donald C M. The breeding of crop ideotype. Euphytica , 1968 , 17 , 385 — 403.

[4] Donald C M. Competitive plants , communal plants , and yield in wheat crops. In : Evans L T , Peacock W J. eds. Wheat science-today and tomorrow. Cambridge : Cambridge University Press , 1981. 223 — 247.

[5] Donald C M , Hamblin J. The convergent evolution of annual seed crops in agriculture. Advances in Agronomy , 1983 , 36 , 97 — 143.

[6] Weiner J , Solbrig O T. The meaning and measurement of hierarchies in plant populations. Oecologia , 1984. 61 : 334 — 336.

[7] Rhainds M , Gries G , Min M M. Size-and density-dependent reproductive success of bagworms , *Metisa plana*. . Entomologia Experimentalis et Applicata , 1999 , 91 : 375 — 383.

[8] Zhang R , Sun G J , Li F M. Definition of redundancy and the ecological mechanism of its occurrence. Acta Botany Boreali-occidentalis Sinica 2003 , 23 (5) : 844 — 851 .

[9] Reynolds M P , *et al*. Yield potential in modern wheat varieties : its association with a less competitive ideotype. Field Crops Res , 1994 , 37 , 149 — 160.

[10] Zhang D Y , Sun G J , Jiang X H. Donald's ideotype and growth redundancy : a game theoretical analysis. Field Crops Res , 1999 , 61 : 179 — 187.

[11] Zhang R , Zhang D Y , Yuan B Z , *et al*. A study of the relationship between competitive ability and productive performance of spring wheat in semi-arid regions of loess plateau. Acta Phytocologica Sinica , 1999 , 23 , 20 — 210.

[12] Rasmusson D C. A plant breeder's experience with ideotype breeding. Field Crops Res , 1991 , 26 : 191 — 200.

[13] Silvertown J W. Introduction to plant population ecology. London , Longman , 1982. 229.

[14] Harper J L. The population biology of plants. London : Academic Press , 1977. 89

[15] Bloom A J , Chapin F S III , Mooney H A. Resources limitation in plants an economic analogy. Annual Review of Ecology and Systematics , 1985 , 16 , 363 — 392.

[16] Bazzaz F K , Ackerly D D , Reekie E. Reproductive allocation in plants. In : Fenner M , eds. Seeds : The Ecology of Regeneration in Plant Communities. CABI Publishing , 2000. 1 — 29.

[17] Sheng C F. Growth redundancy-the explanation of crop overcompensation responses to insect pests. Chinese Journal of Applied Ecology , 1990 , 1 (1) 26 — 30.

[18] Fasoula D A , Fasoula V A. Competitive ability and plant breeding. Plant Breeding Review , 1997 , 14 : 89 — 138.

[19] Cowling R M , Mustart P J , Laurie H , *et al* ; Species diversity ; functional diversity and functional redundancy in fynbos communities. South African Journal of Science , 1994 , 90 333 — 337.

[20] Rosenfeld J S. Functional redundancy in ecology and conservation. Oikos 2002 98 (1) : 156 — 162.

[21] Liu Z Z , Lu S Y , Li Z Z. Source and sink improvement of middle to high yield winter wheat varieties in northern china area. Journal of Hebei Agricultural University , 1991 , 14 (3) 1 — 4.

[22] Austin R B , Ford M A , Morgan C L. In : Plant Breeding Institute Annual Report for 1984. Cambridge : Plant Breeding Institute , 1985. 106 — 107.

参考文献 :

[8] 张荣 , 孙国钧 , 李凤民. 冗余概念的界定与冗余产生的生态学机制. 西北植物学报 2003 23 (5) : 844 ~ 851.

[1] 张荣 张大勇 原保忠 等. 半干旱区春小麦品种竞争能力与产量关系的研究. 植物生态学报 , 1999 23 (3) 205 ~ 210.

[17] 盛承发. 生长的冗余——作物对于虫害超越补偿作用的一种解释. 应用生态学报 , 1990 1 (1) : 26 ~ 30.

[21] 刘志增 , 卢少源 , 李宗智. 华北地区中高产冬麦品种源库演变分析. 河北农业大学学报 , 1991 , 14 (3) 1 ~ 4.