

不同株高品种混播对青海春小麦产量的影响

权文利^{1,2}, 陈志国¹, 连利叶³, 王 蕾^{1,2}

(1. 中国科学院 西北高原生物研究所, 西宁 810008; 2. 中国科学院 研究生院, 北京 100049; 3. 青海省水利水电科学研究所, 西宁 810008)

摘要 采用2种具有相似生育期但株高不同的春小麦品种—高原448和高原437进行混播和单播试验,高原448和高原437的混播比例(粒数比)分别设为2:1、1:1和1:2,分析2品种混播时的产量和农艺性状等差别。结果表明,在混播条件下,高原448和高原437的农艺性状比2品种分别单播时表现好。高原448与高原437按2:1、1:1和1:2比例混播时,其产量分别比高原448单播时高16.115%、6.962%和12.950%;比高原437单播时高11.034%、2.281%和8.007%。其中,当高原448和高原437以2:1混播时,小区产量的平均值分别比混播比例为1:1和1:2时高出8.557%和2.802%。表明,与单播相比,品种间混播具有增产作用,但不同混播比例的增产效应不同。

关键词 春小麦;青海高原;混播;产量

中图分类号 S512.1⁺2

文献标志码 A

文章编号 1004-1389(2013)08-0015-06

Effect of Mixed Planting with Height-differentiated Varieties on Spring Wheat Yield in Qinghai Plateau

QUAN Wenli^{1,2}, CHEN Zhiguo¹, LIAN Liye³ and WANG Lei^{1,2}

(1. Northwest Institute of Plateau Biology, Chinese Academy of Science, Xining 810008, China;

2. Graduate University of Chinese Academy of Science, Beijing 100049, China;

3. Qinghai Institute of Water Resources and Hydropower Research, Xining 810008, China)

Abstract In order to research the effect of mixed planting of spring wheat varieties on yield, agronomic traits and so on in Qinghai plateau, two spring wheat varieties with similar growth period but different plant height, Gaoyuan 448(Sd, Semi-dwarf) and Gaoyuan 437, were served as materials and cultivated with monoculture and mixed planting by 2:1, 1:1, and 1:2 grain number ratio of Gaoyuan 448 and Gaoyuan 437; the differences of yield outputs and agronomic traits were analyzed. The results showed that, under the condition of mixed seeding, the agronomic traits of Gaoyuan 448 and Gaoyuan 437 had better performance than those of two monocultured varieties respectively. According to the above three different mixed seeding proportions, the grain yield of mixture sowing was respectively 16.115%, 6.962% and 12.950% higher than monocultured Gaoyuan 448, and 11.034%, 2.281% and 8.007% higher than monocultured Gaoyuan 437 respectively; the area output of 2:1 mixed seeding was higher 8.557% and 2.802% respectively than that of the other two mixed proportions. In conclusion, the mixed planting between varieties can increase yield indeed; however, different proportions of mixture sowing often make different effect on grain yield.

Key words Spring wheat; Qinghai plateau; Mixed planting; Yield

收稿日期:2012-09-21 修回日期:2013-04-22

基金项目:国家农业科技技术成果转化资金(2011GB24910002);中国科学院科技支新项目(2010年度);国家水利部“948”项目;中国科学院高原生物适应与进化重点实验室资助。

第一作者:权文利,女,硕士,研究方向为小麦遗传育种。E-mail:quanwenli0426@163.com

小麦混播是指小麦混系播种,即不同品系(或品种)按一定比例混合播种于大田,利用 2 个或多个品种在农艺性状上的互补作用,达到增产稳产的目的。任何一个品种的农艺性状都有所长短,通过混播可以更好地发挥其长处,弥补其缺陷^[1]。

研究表明,具有不同形态、生理特征的小麦品种在单一种植条件下,往往出现病害、冻害等现象,影响产量。而不同品种混播能够比较充分地利用光、温、水、气等自然资源,提高群体的稳定性和安全性^[2],打破单一群体旗叶层的郁闭状态,使下部各叶层通风透光状况显著改善,进一步发掘下部叶片可利用的同化潜力^[3],如采用高矮搭配,不同品种旗叶分布在不同层面,减少叶片在同一高度互相遮蔽,利于叶片合理空间分布,改善受光环境,减少个体与群体矛盾^[4],从而实现小麦混合群体增产稳产的效应。

春小麦(*Triticum aestivum* L.)在青海省播种面积 $10.0 \times 10^4 \sim 13.3 \times 10^4$ hm^2 ,位居农作物播种面积第 2 位。但由于青海省地处青藏高原东北部,日月山以东又逐渐向黄土高度过渡,北部处于黄土、蒙新和青藏三大高原的交汇处。大部分地区寒冷、干旱、缺氧,自然灾害频繁,恶劣的自然条件和有限的耕地面积,制约着该省的粮食产量,且随着人口的逐年增加,对粮食的需求也日益突出,有效提高粮食单产和总产是青海农业迫切需要解决的突出问题之一。

多年来,在青海高原东部农业区、高位山旱地区农民有混播种植的习惯,甚至有以粮代种的现象。为研究这种行为对小麦增产的作用和对麦田群体特征特性的影响。本试验设置 2 种不同株高春小麦品种混播,研究其对产量、农艺性状等的效应,旨在了解混播对该地区春小麦生产的影响,为农业种子生产、销售、管理部门提供参考。

1 材料与方 法

1.1 供试品种

高原 448(Semi-dwarf),株高 95 cm 左右,春性,中早熟,高感条锈病,秆锈免疫;高原 437(High stalk),株高 110 cm 左右,春性,中早熟,高抗条锈病,中抗秆锈病。2 品种的生育期一致。

2011 年 2 月取上年收获于同一地区的种子去除杂质后,按发芽率、不同混播比例(粒数比)将 2 品种种子混匀装袋,备用。

1.2 试验时间和地点

2011-03-25 播种,试验设在青海省平安县小峡镇中国科学院西北高原生物研究所平安生态农业试验站(E 101°59'31",N 36°30'56")。试验站位于青海省湟水谷地,海拔 2 160 m,年均日照时数 2 864.4 h,年总太阳辐射量 140.3 ~ 152.2 kJ/cm^2 ,年均气温 6.2 $^{\circ}\text{C}$,降水量 354.1 mm,蒸发量 1 800 mm。

1.3 试验设计

设 5 个处理:高原 448、高原 437 单播;高原 448 和高原 437 混播,混播比例(粒数比)分别为 2:1、1:1 和 1:2。基本苗统一为 545 万/ hm^2 ,折合每平方米播种 717 粒。小区面积 6 m^2 ,行长 2 m,行距 0.2 m,每小区 10 行。随机区组排列,3 次重复,南北走向,人工开沟手溜条播。田间管理同大田。

1.4 测定指标

小麦开花后,每小区随机选取生长正常的植株 30 株,挂牌标记,其中在 9 个混播小区内,高原 448 和高原 437 各选取 15 株,分别取得株高、穗长、旗叶长、旗叶宽(旗叶最宽处)、小穗数、不育小穗、穗粒数等数据。计算结实率、叶面积(旗叶长 \times 旗叶宽 $\times 0.83$)。

8 月下旬,取挂牌标记的单穗单独脱粒并称粒质量,各小区单独收获,晒干脱粒后称量。

1.5 数据处理

采用 SPSS16.0 和 EXCEL 软件进行数据分析和绘图。

2 结果与分析

2.1 不同混播处理与单播处理的农艺性状比较

2.1.1 混播与单播相比株高的变化 由表 1 可以看出,混播条件下的高原 448 和高原 437 株高都比 2 品种在单播条件下高。当混播比例为 2:1 时,混播群体中高原 448 平均株高比单播时高 6.5 cm,高原 437 平均株高比单播时高 2.9 cm;当混播比例为 1:1 时,混播群体中高原 448 平均株高比单播时高 8.8 cm,高原 437 比单播时高 3.5 cm;当混播比例为 1:2 时,高原 448 比单播时高 10.0 cm,高原 437 比单播时高 5.6 cm。2 品种混播与单播条件下相比,高原 448 株高增高幅度比高原 437 大 3.6~4.5 cm。这表明,2 品种在生长期内存在对于光照、水、温度等资源的竞争,促进了 2 品种株高的增加。但无论高原 448

表 1 不同播种方式对两品种农艺性状的影响

Table 1 Effects of different sowing styles on agronomic traits of two spring wheat

农艺性状 Agronomic trait	小麦品种 Cultivar	单播 Monoculture	混播 Mixture		
			2:1	1:1	1:2
株高/cm Plant height	高原 448 Gaoyuan 448	83.0 a	89.5 a	91.8 a	93.0 a
	高原 437 Gaoyuan 437	97.5 a	100.4 a	101.0 a	103.1 a
穗长/cm Ear length	高原 448 Gaoyuan 448	9.1 a	10.2 a	10.8 a	10.7 a
	高原 437 Gaoyuan 437	10.2a	10.4a	11.1a	12.6a
旗叶长/cm Flag leaf length	高原 448 Gaoyuan 448	25.6 a	27.2 a	28.8 a	28.6 a
	高原 437 Gaoyuan 437	28.4 a	27.9 a	28.2 a	28.7 a
旗叶宽/cm Flag leaf width	高原 448 Gaoyuan 448	1.5 b	2.0 ab	2.2 a	2.2 a
	高原 437 Gaoyuan 437	2.2 a	2.1 a	2.3 a	2.2 a
旗叶面积/cm ² Flag leaf area	高原 448 Gaoyuan 448	33.7 a	47.1 a	53.4 a	53.2 a
	高原 437 Gaoyuan 437	51.7 a	50.2 a	52.7 a	52.9 a
小穗数 Spikelet number	高原 448 Gaoyuan 448	16.2 a	16.1 a	16.7 a	15.9 a
	高原 437 Gaoyuan 437	15.9 a	16.3 a	17.0 a	16.1 a
不育小穗 Infertility spikelet	高原 448 Gaoyuan 448	1.1	0.7	0.8	0.9
	高原 437 Gaoyuan 437	0.7	0.6	0.7	0.6
结实小穗 Fertility spikelet	高原 448 Gaoyuan 448	15.1 a	15.4 a	15.9 a	15.0 a
	高原 437 Gaoyuan 437	15.2 a	15.7 a	16.3 a	15.5 a
结实率/% Maturing rate	高原 448 Gaoyuan 448	93.2	95.7	95.2	94.4
	高原 437 Gaoyuan 437	95.7	96.3	95.8	96.1
穗粒数 Kernel per ear	高原 448 Gaoyuan 448	40.3 a	43.6 a	50.1 a	46.2 a
	高原 437 Gaoyuan 437	48.8a	50.7a	51.7a	51.2a
穗粒质量/g Kernel mass per ear	高原 448 Gaoyuan 448	1.8 a	2.1 a	2.0 a	2.0 a
	高原 437 Gaoyuan 437	2.1 a	2.3 a	2.2 a	2.2 a
粒叶比/% Grain-leaf ratio	高原 448 Gaoyuan 448	5.5	4.5	3.8	3.8
	高原 437 Gaoyuan 437	4.1	4.7	4.2	4.2

注:同行不同小写字母表示 0.05 水平差异显著。

Note: Different letters in the same row indicate the significant differences at 0.05 level.

还是高原 437,混播与单播条件下相比,株高差异都没有达到显著水平。

2.1.2 混播与单播相比旗叶的变化 高原 437 在混播条件下,当混播比例为 2:1 时,旗叶长、宽和叶面积分别比其单播时小 0.5 cm、0.1 cm 和 1.5 cm²;当比例为 1:1 时,旗叶长比单播时小 0.2 cm,旗叶宽比单播时大 0.1 cm,叶面积比单播时大 1.0 cm²;当比例为 1:2 时,旗叶长比单播时大 0.3 cm,旗叶宽基本相等,叶面积大 1.2 cm²。高原 448,在混播条件下的旗叶长、宽和叶面积都比其在单播时大;当比例为 1:1 和 1:2 时,旗叶宽与其单播相比,差异达到显著水平。在 3 种混播群体中,当比例为 2:1 时,高原 448 和高原 437 两品种旗叶长、宽和叶面积是相对最小的。说明,在此混播比例下,2 品种叶片可以减少相互遮挡,更加充分利用有效的利用空间和光照资源。

2.1.3 混播与单播相比穗部性状的变化 穗长变化 混播群体中 2 品种穗长都比其在单播条件下长。当混播比例为 2:1、1:1 和 1:2 时,高原

448 和高原 437 的平均穗长分别比各自单播时长 1.1、0.2、1.7 cm 和 0.9、1.6、2.4 cm。由此可以看出,混播群体中,当混播比例为 1:1 时,高原 448 穗长增长幅度最大(1.7 cm);当混播比例为 1:2 时,高原 437 穗长增长幅度最大(2.4 cm)。随着高原 437 占混播群体中比例的增加,其穗长呈明显上升趋势,表明,高秆品种群体营养和个体营养得到了较大发挥。

小穗数变化 高原 448 在混播比例为 1:1 时,小穗数比单播条件下多 0.5 个,在其他 2 种比例混播条件下,小穗数都有所减少。混播群体中高原 448 不育小穗数比单播时都有所减少,当混播比例为 2:1 时,不育小穗数平均为 0.7 个,减少的最多,结实率为 95.7%,比单播时增加 2.5%,比混播比例为 1:1 和 1:2 时分别高 0.5%、1.3%。表明,混播群体中矮秆品种生育特性在混播比例较高条件下得到充分发挥。

高原 437 在混播群体中的小穗数均比其单播时多,当混播比例为 1:1 时最多(17 个),比单播时多 1.1 个;不育小穗数与单播时相比相差不大

或相等;当混播比例为 2 : 1 时,高原 437 的结实率在 3 种混播比例群体中最高(96.3%),比单播时增加 0.6%,比混播比例为 1 : 1 和 2 : 1 时分别高 0.5%和 0.2%。这表明,混播群体中高秆品种生育特性在混播比例较低条件下得到充分发挥。

穗粒数和穗粒质量变化 混播条件下,高原 448 和高原 437 的穗粒数和穗粒质量比 2 品种各自单播时多。当混播比例为 1 : 1 时,混播群体中高原 448 和高原 437 的穗粒数与单播相比最多,分别为 50.1 粒和 51.7 粒。当混播比例为 2 : 1 时,高原 448 和高原 437 的穗粒数分别为 43.6 粒和 50.7 粒,是 3 种比例混播群体中相对最小的;但穗粒质量却是相对最大的,分别为 2.1 和 2.3 g。

小麦产量由穗数、穗粒数和粒质量构成,这 3 个因素乘积的大小,是集中反映产量高低的标志^[4]。本试验不同处理间,高原 448 和高原 437 两品种单播与不同混播群体相比,虽然小穗数、穗粒数和穗粒质量都没有达到显著差异,但试验结果表明,在高矮秆品种混播比达到一定比例时,由于混播促进了群体内个体间的竞争,小穗数、穗粒数和穗粒质量都获得不同程度提高,从而提高了群体产量。

2.2 不同混播处理与单播的产量比较

混播条件下,当混播比例为 2 : 1 时,小区产量分别比高原 448 和高原 437 单播时高 16.115%和 11.034%;当混播比例为 1 : 1 和 1 : 2 时,其产量比高原 448 单播时增产 6.962%、2.281%;比高原 437 单播时增产 12.950%和 8.007%。在本试验条件下,混播的各个处理与单播相比,虽然产量差异不显著,但产量结果表明,不同品种间的混播处理与单播相比具有增产作用(表 2)。

不同混播小区产量不同,当混播小区比例为 2 : 1 时,小区产量最高,为 2.385 kg,比 1 : 1 和 1 : 2 的混播小区产量分别高出 8.557%和 2.802%。这说明,2 品种混播比例不同对小区产生的增产效应也不同。但 3 个混播处理产量差异没有达到显著水平。

2.3 产量与粒叶比的关系

阎新甫等^[5]研究认为,小麦粒叶比反映着叶面积对籽粒产量贡献的大小。LAI 相近时,高粒叶比群体的产量高^[6-8],与凌启鸿等^[7]在水稻上的研究结果一致。在本试验中,混播条件下,高原 437 粒叶比比单播时增高,其中当混播比例为

2 : 1 时,粒叶比最高,为 4.7%,比单播时增高 0.6%;高原 448 粒叶比较单播时有所减少,其中当混播比例为 2 : 1 时,粒叶比减少幅度最小,为 1.0%,当混播比例为 1 : 1 和 1 : 2 时,粒叶比比单播时各自减少 1.7%。这表明,当混播比例为 2 : 1 时,混播群体中高秆和矮秆品种的粒叶比都是相对最高的。

由表 2 可见,混播条件下,当混播比例为 2 : 1 时,小区产量在 5 个不同播种处理中最高,虽然高原 448 和高原 437 的旗叶叶面积相对较少,但穗粒质量却在 3 个混播处理中最高,2 品种的粒叶比也是 3 个混播处理中最大的,这种特性可以使植物在较小的叶面积条件下获得较高的产量,有利于解决群体与个体间的矛盾,显然对高产栽培有利。从光合产物的分配利用方面分析,也较合理而经济。

表 2 不同播种方式下小区产量差异显著性

Table 2 Significance of difference between plot yield under different sowing styles

播种方式 Sowing styles	平均产量 Average yield
高原 448 单播 Monocultured Gaoyuan 448	2.054 3 a
高原 437 单播 Monocultured Gaoyuan 437	2.148 3 a
混播比例 2 : 1 Mixed sowing 2 : 1	2.384 7 a
混播比例 1 : 1 Mixed sowing 1 : 1	2.197 3 a
混播比例 1 : 2 Mixed sowing 1 : 2	2.319 7 a

注:同列不同小写字母表示 0.05 水平差异显著。

Note: Different letters in the same column indicate the significant differences at 0.05 level.

3 结论与讨论

3.1 混播条件下,各品种农艺性状表现比单播时好,小区产量比单播时高。小麦的产量潜力受许多因素的影响^[9],其中小穗数、穗粒数和穗粒质量是构成产量相关的 3 个主要因素。在本试验中,高原 448 和高原 437 在混播群体中的小穗数、穗粒数和穗粒质量明显比单播时高。说明,混播群体具有较大的库和较强的库容能力。库源学说认为,作物产量既取决于源光合物质生产能力,又与库的大小和库容能力密切相关,较大的库容能力可促进光合物质源的生产与运转^[10]。Evans^[11]、Judel 等^[12]强调库的决定作用,认为库能刺激叶片光合活性,调节光合产物的分配,扩大库容就能提高产量。郭文善等^[6]研究小麦开花后库源关系表明,库容量的大小影响开花后光合产物的生产

与分配,较大的库容可促进叶片光合潜力发挥和光合产物向穗部的运转,如果库利用不了多的同化物,糖就会在源中积累,引起反馈抑制,降低源的光合作用。光合作用是产量形成的基础^[13-15]。Thorne、Simpon 和 Zelitch 等强调源的决定作用,认为光合作用在产量形成中起主导作用,扩大叶面积或提高光合效率能提高产量。在本试验中,高原 448 与高原 437 按 2:1,1:1 和 1:2 三种不同比例混播时,其产量均较单播提高。说明,混播群体与单一群体相比,既具有较大源,又具有较大的库,库与源间相互作用、相互协调;同时,混播增强了株型及群体间的补偿性,通过改善群体中作为主要功能叶—旗叶的光、气、热等综合状态,充分利用空间和自然资源,最终达到提高群体产量的目的^[3,16-17]。

3.2 小麦主穗粒质量与旗叶叶面积之比(简称粒叶比),可以作为衡量小麦库源关系是否协调的相对指标,其产量的高低与群体源、库特征及其协调关系密切相关^[10]。在本试验条件下,当混播比例为 2:1 时,混播群体的增产效应最大,分别比混播比例为 1:1 和 1:2 的小区产量高出 8.557% 和 2.802%;且高原 448 和高原 437 的旗叶叶面积在 3 个混播处理中最小,结实率最高,穗粒质量最大,粒叶比最高。这说明,混播条件下,当混播比例为 2:1 时,高原 448 和高原 437 利用植株个体高矮的差异,充分发挥了各自的优势,避免了同一空间受光面积拥挤的现象,使其光合群体发育较佳,库源关系更协调,较大程度地缓减了群体与个体间的矛盾,使混播群体处于一种优势群体状态,从而获得较多的光合产物。早在 40 年代末期,就有以 Waston 为代表的英国学派认为,决定作物产量的主导因素是由于叶面积的发展,但当叶面积指数(Leaf Area Index, LAI)较大时,由于叶片相互荫蔽,此时受光面积小于叶面积,反而影响作物的光合效率^[15]。松岛省三等认为,LAI 及总颖花量都应控制在适宜的范围,通过提高结实率和粒质量来提高产量。时侠清^[16]研究表明,混播品种的组成,一般以高秆品种占 30% 为好。随后徐世军^[18]研究表明,混播方式下矮秆品种用种量占 75%~80%,高秆品种用种量占 20%~25%,且不得超过 25%,对群体的增产效益最大。虽然两者关于高秆品种所占混合比例有些差别,但其思路是相同的。这就是适当减少高秆品种在混合群体中的比例,改善矮秆品种光照条件,既要

使高秆品种最大地发挥增产潜力,又要使混合群体中的矮秆品种所受影响较少,以充分发挥混合品种的丰产、稳产作用^[16]。这也解释了在混播群体中,当混播比例为 1:1 和 1:2 时,高原 448 和高原 437 的旗叶长和宽及叶面积在比混播比例为 2:1 时大的情况下,混播群体的小区产量却没有后者高的原因。可见,混播条件下高矮品种所占比例不同,增产的幅度也不同。但由于各品种在混播群体中最佳比例的确定还要依据当地的生产 and 生态条件^[19]。确定青海高原特殊自然与生态环境下的混播比例,获得最大增产效应,还有待于进一步研究。

3.3 小麦不同品种混播是一种通过栽培技术实现自然控病的有效措施,特别是在小麦条锈病综合治理上,它可以更好地发挥不同品种的遗传抗病性,减少杀菌剂的使用,降低生产成本。同时,多品种混播所表现出的良好稳产效果也是其他病害控制措施所不能比拟的^[20]。本试验以高感条锈病、秆锈免疫的高原 448 和高抗条锈病,中抗秆锈病的高原 437 为试验材料,在研究混播产量效应的同时,试图研究混播对青海高原小麦群体抗病性的影响,但因在 2011 年生长季,青海省东部农业区的降雨量与历年同期相比偏少,加之气候干燥等原因,本年度试验种植的小麦并没有发生病害。所以混播对该地区小麦抗病性的影响还有待于进一步研究。

3.4 不同品种小麦混播的增产效应在一定程度上对提高粮食产量具有一定的积极作用。但混播后代的产量、抗病性变化和遗传变异如何,有待进一步试验验证。且混播对种子生产、管理部门的原、良种生产和新品种长期利用具有明显的副作用,这也是不争的事实。因此,在新品种推广和示范中,混播还是不宜提倡。

参考文献:

- [1] XU Zhaofei(徐兆飞). Forbidden confusion mixture sowing with confounding of wheat varieties [J]. Agriculture in Shanxi(山西农业),1996(7);5(in Chinese).
- [2] WANG Jianlai(汪建来),KONG Lingcong(孔令聪),CAO Chengfu(曹承富),*et al.* Yield and quality efficiency of mixture sowing of wheat varieties [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences(安徽农业科学),2003,31(6):947-948(in Chinese).
- [3] ZHU Wangde(朱万德),ZHANG Shuguang(张树光),HAN Wanshuang(韩万双). Study on mechanism of yield effect of spring wheat varieties with different height grown

- in mixing or intercropping [J]. Journal of Heilongjiang August First Land Reclamation University(黑龙江八一农垦大学学报), 1996, 8(4): 18-20 (in Chinese with English abstract).
- [4] JIN Shanbao(金善宝). Chinese Wheat(中国小麦学) [M]. Beijing, China Agriculture Press, 1996: 13 (in Chinese).
- [5] YAN Xinfu(阎新甫), ZHAO Xianlin(赵献林). Research on grain leaf ratio of high yield wheat varieties [J]. Journal of Henan Agricultural Sciences(河南农业科学), 1989, 11: 1-2 (in Chinese).
- [6] GUO Wenshan(郭文善), FENG Chaonian(封超年), YAN Jiuling(严九零), *et al.* Analysis on source-sink relationship after anthesis in wheat [J]. Acta Agronomica Sinica(作物学报), 1995, 21(3): 334-340 (in Chinese with English abstract).
- [7] LING Qihong(凌启鸿), ZHANG Hongcheng(张洪程), CAI Jianzhong(蔡建中), *et al.* Investigation on the population quality of high yield and its optimizing control programme in rice [J]. Scientia Agricultura Sinica(中国农业科学), 1993, 26(6): 1-11 (in Chinese with English abstract).
- [8] XIE Lingqin(谢令琴), LU Shaoyuan(卢少源). Preliminary studies on the ratio of grain yield to leaf area as an alternative item in the early progeny of wheat breeding [J]. Journal of Agricultural University of Hebei(河北农业大学学报), 1994, 17(3): 43-47 (in Chinese with English abstract).
- [9] ZHAO Zhongbao(赵忠宝), WANG Fuxu(王福绪), LIU Yilin(刘奕琳), *et al.* Ecological factor changes and wheat output in poplar-crop system [J]. Journal of Nanjing Forestry University: Natural Science Edition(南京林业大学学报: 自然科学版), 2008, 32(1): 136-138 (in Chinese with English abstract).
- [10] LIU Keli(刘克礼), ZHAI Lijian(翟利剑), GAO Julin(高聚林), *et al.* Study on the characters of source and sink and their relation in spring wheat (II)-ratio of community source and sink and its relation with yield [J]. Journal of Triticeae Crops(麦类作物学报), 2003, 23(4): 63-65 (in Chinese with English abstract).
- [11] Evans L T. The Crop Physiology [M]. England: Cambridge University Press, 1975.
- [12] Judel G K, Mengel K. Effect of shading on nonstructural carbohydrates and their turnover in culms and leaves during the grain filling period of spring wheat [J]. Crop Sci, 1982, 22: 958-962.
- [13] HUANG Zhenxi(黄振喜), WANG Yongjun(王永军), WANG Kongjun(王空军), *et al.* Photosynthetic characteristics during grain filling stage of summer maize hybrids with high yield potential of 15 000 kg · ha⁻¹ [J]. Scientia Agricultura Sinica(中国农业科学), 2007, 40(9): 1898-1909 (in Chinese with English abstract).
- [14] Colom M R, Vazzana C. Photosynthesis and PS II functionality of drought-resistant and drought-sensitive weeping loygrass plants [J]. Environmental Experimental Botany, 2003, 49: 135-144.
- [15] ZHOU Zhuqing(周竹青). Studies on the physiological characteristics of resource, sink and flow and the microstructure or ultrastructure changes of kernels during the process of kernel development in wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars (lines) [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University(华中农业大学), 2004 (in Chinese with English abstract).
- [16] SHI Xiaqing(时侠清). Grain yield comparison and analysis of sowing alone and mixed planting of wheat cultivars [J]. Journal of Anhui Agrotechnical Teachers College(安徽农业技术师范学院学报), 1995, 9(3): 19-24 (in Chinese with English abstract).
- [17] LI Yan'e(李燕娥), XIE Hong'e(解红娥), REN Pinghe(任平合), *et al.* Yield efficiency of mixture sowing various wheat varieties [J]. Journal of Shanxi Agricultural Sciences(山西农业科学), 1997, 25(1): 28-29 (in Chinese with English abstract).
- [18] XU Shijun(徐世军). The mechanism and the necessary technical measures of mixed seeding of wheat varieties [J]. Agriculture of Henan(河南农业), 2010(2): 38 (in Chinese).
- [19] LUO Zhenhua(罗振华). Research on mixed seeding of two spring wheat varieties [J]. Gansu Science and Technology(甘肃科技), 1997, 11(4): 14, 17 (in Chinese).
- [20] SHEN Li(沈丽), YE Xiangping(叶香萍), LIAO Huaming(廖华明), *et al.* Control of wheat stripe rust and ensuring high yield of crops under planting of wheat variety mixtures [J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences(西南农业学报), 2007, 20(4): 615-618 (in Chinese with English abstract).