

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第33卷 第12期 Vol.33 No.12 **2013**

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第33卷第12期 2013年6月 (半月刊)

目次

前沿理论与学科综述

- 森林低温霜冻灾害干扰研究综述 李秀芬, 朱教君, 王庆礼, 等 (3563)
- 碱蓬属植物耐盐机理研究进展 张爱琴, 庞秋颖, 阎秀峰 (3575)

个体与基础生态

- 中国东部暖温带刺槐花期空间格局的模拟与预测 徐琳, 陈效速, 杜星 (3584)
- 长白山林线树种岳桦幼树叶功能型性状随海拔梯度的变化 胡启鹏, 郭志华, 孙玲玲, 等 (3594)
- 油松天然次生林居群遗传多样性及与产地地理气候因子的关联分析 李明, 王树香, 高宝嘉 (3602)
- 施氮对木荷3个种源幼苗根系发育和氮磷效率的影响 张蕊, 王艺, 金国庆, 等 (3611)
- 围封对内蒙古大针茅草地土壤碳矿化及其激发效应的影响 王若梦, 董宽虎, 何念鹏, 等 (3622)
- 干热河谷主要造林树种气体交换特性的坡位效应 段爱国, 张建国, 何彩云, 等 (3630)
- 生物降解对黑碳及土壤上苯酚脱附行为的影响 黄杰勋, 莫建民, 李非里, 等 (3639)
- 3个树种对不同程度土壤干旱的生理生化响应 吴芹, 张光灿, 裴斌, 等 (3648)
- 冬小麦节水栽培群体“穗叶比”及其与产量和水分利用的关系 张永平, 张英华, 黄琴, 等 (3657)
- 不同秧苗素质和移栽密度条件下臭氧胁迫对水稻光合作用、物质生产和产量的影响 彭斌, 李潘林, 周楠, 等 (3668)
- 根域限制下水氮供应对膜下滴灌棉花叶片光合生理特性的影响 陶先萍, 罗宏海, 张亚黎, 等 (3676)
- 光照和生长阶段对菖蒲根系泌氧的影响 王文林, 王国祥, 万寅婧, 等 (3688)
- 植物病原菌拮抗性野生艾蒿内生菌的分离、筛选和鉴定 徐亚军, 赵龙飞, 陈普, 等 (3697)
- 不同生物型棉蚜对夏寄主葫芦科作物的选择 肖云丽, 印象初, 刘同先 (3706)
- 性别和温度对中华秋沙鸭越冬行为的影响 曾宾宾, 邵明勤, 赖宏清, 等 (3712)

种群、群落和生态系统

- 基于干扰的汪清林区森林生态系统健康评价 袁菲, 张星耀, 梁军 (3722)
- 洞庭湖森林生态系统空间结构均质性评价 李建军, 刘帅, 张会儒, 等 (3732)

景观、区域和全球生态

- 川西米亚罗林区不同海拔岷江冷杉生长对气候变化的响应 徐宁, 王晓春, 张远东, 等 (3742)
- 2001—2010年内蒙古植被净初级生产力的时空格局及其与气候的关系 穆少杰, 李建龙, 周伟, 等 (3752)
- 地形因子对盐城滨海湿地景观分布与演变的影响 侯明行, 刘红玉, 张华兵, 等 (3765)
- 毛乌素沙地南缘植被景观格局演变与空间分布特征 周淑琴, 荆耀栋, 张青峰, 等 (3774)
- 贵州白鹇湖沉积物中孢粉记录的5.5 kaB. P. 以来的气候变化 杜荣荣, 陈敬安, 曾艳, 等 (3783)

典型河谷型城市春季温湿场特征及其生态环境效应..... 李国栋,张俊华,王乃昂,等 (3792)

秦岭南北近地面水汽时空变化特征..... 蒋 冲,王 飞,喻小勇,等 (3805)

露天矿区景观生态风险空间分异..... 吴健生,乔 娜,彭 建,等 (3816)

基于 Holdridge 和 CCA 分析的中国生态地理分区的比较 孔 艳,江 洪,张秀英,等 (3825)

资源与产业生态

中国农业生态效率评价方法与实证——基于非期望产出的 SBM 模型分析 潘 丹,应瑞瑶 (3837)

舟山市东极大黄鱼养殖系统能值评估..... 宋 科,赵 晟,蔡慧文,等 (3846)

不同基因型玉米间混作优势带型配置..... 赵亚丽,康 杰,刘天学,等 (3855)

气候与土壤对烤后烟叶类胡萝卜素和表面提取物含量的影响..... 陈 伟,熊 晶,陈 懿,等 (3865)

城乡与社会生态

成都市沙河主要绿化树种固碳释氧和降温增湿效益 张艳丽,费世民,李智勇,等 (3878)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 326 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 33 * 2013-06



封面图说: 长白山南坡的岳桦林——长白山岳桦林位于海拔约 1700—2000m 之间的山坡。这种阔叶林分布在针叶林带的上面,成为山地森林的上缘种类,在世界山地森林中实属罕见。岳桦能够顽强地抗御长白山潮湿、寒冷、强风等恶劣气候因素,在严酷的环境条件下形成纯林,是与其独特的生长发育机理密切相关的。岳桦的枝干颇具韧性,在迎风处,由于风吹雪压,树干成片地向背风侧倾斜,这种特性使它能不畏风雪,顽强生存。随着海拔的升高,岳桦林也逐渐矮化,这是岳桦林保护自身生存,适应大自然的结果。

彩图及图说提供: 陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites. chenjw@163. com

DOI: 10.5846/stxb201208141140

张永平, 张英华, 黄琴, 王志敏. 冬小麦节水栽培群体“穗叶比”及其与产量和水分利用的关系. 生态学报, 2013, 33(12): 3657-3667.

Zhang Y P, Zhang Y H, Huang Q, Wang Z M. The ear-leaf ratio of population is related to yield and water use efficiency in the water-saving cultivation system of winter wheat. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(12): 3657-3667.

冬小麦节水栽培群体“穗叶比”及其与 产量和水分利用的关系

张永平^{1,2}, 张英华¹, 黄 琴¹, 王志敏^{1,*}

(1. 中国农业大学农学与生物技术学院, 北京 100193; 2. 内蒙古农业大学农学院, 呼和浩特 010018)

摘要: 建立高光效低耗水的群体结构是小麦节水高产栽培的核心内容。为此, 需要明确节水高产群体的适宜调控指标。以穗叶比(单位面积穗数与上三叶总面积之比, 穗/ m^2)为指标, 在不同品种、不同灌水和种植密度条件下研究了小麦群体穗叶比的变化, 并分析了穗叶比与群体光合性能、水分利用的关系。结果表明, 在相同密度下, 随着灌水减少, 孕穗、开花和灌浆期的穗叶比均相应增大; 在限水灌溉下, 随密度增加穗叶比也相应增加。不同品种的穗叶比也存在明显差异。在适宜叶面积基础上, 随穗叶比增加, 群体中非叶面积指数(NAI)增加, 冠层内光照状况明显改善, 群体光合效率提高; 非叶器官贮藏物质转移率增加, 收获指数提高。在一定范围内, 随穗叶比增加产量明显增加, 而耗水量显著减少, 从而使水分利用效率得到提高。研究认为, 群体穗/叶比是衡量小麦节水栽培库源关系是否协调的适宜指标。试验中小麦节水省肥高产栽培适宜的穗叶比值为 230—270 穗/ m^2 。

关键词: 小麦; 穗叶比; 节水栽培; 非叶器官; 群体结构

The ear-leaf ratio of population is related to yield and water use efficiency in the water-saving cultivation system of winter wheat

ZHANG Yongping^{1,2}, ZHANG Yinghua¹, HUANG Qin¹, WANG Zhimin^{1,*}

1 College of Agronomy and Bio-technology, China Agricultural University, Beijing 100193, China

2 College of Agronomy, Inner Mongolia Agricultural University, Huhhot 010018, China

Abstract: The key of water-saving and high-yield cultivation in wheat is to establish the population structure with high photosynthetic efficiency and low water consumption. For this reason, it is need to define the suitable control index of wheat population for water-saving and high-yield. In this paper, the ear-leaf ratio (the ratio of the number of ears to the total area of up 3 leaves in crop population, ears/ m^2) as a control index was studied including it's variation and it's relationships to photosynthetic performance of population and water use under the conditions of different varieties, irrigation treatments and planting densities. The results showed that, the ear-leaf ratios at the booting, anthesis and filling stage all increased as irrigation reduced or planting density increased. Under the condition of water-limited irrigation, there was significant difference in the ear-leaf ratio among varieties. On the basis of suitable leaf area, with the increase in the ear-leaf ratio, the non-leaf area index (NAI) of the population was increased, the illumination condition within the canopy was bettered obviously, the photosynthetic efficiency of the population was improved; the transfer percentage of reserves in non-leaf organs to grain was increased, the harvest index was increased; the yield was increased significantly and the water consumption was significantly decreased, which made the water use efficiency increase. Thus, it is put forward that the ear-

基金项目: 国家 973 基础研究项目(2012CB955904); 农业部现代农业产业技术体系与行业专项(200903007)

收稿日期: 2012-08-14; **修订日期:** 2013-03-04

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: Zhimin206@263.net

leaf ratio of population is a suitable index to measure if the relationship between sink and source is compatible in the wheat water-saving cultivation system. The suitable ear-leaf ratio is 230—270 ears/m² in the water-saving, fertilizer-saving and high-yield wheat cultivation.

Key Words: wheat; ear-leaf ratio; water-saving cultivation; population structure; non-leaf organs

由于水资源日趋紧缺,我国北方冬小麦生产必须走节水高产之路。研究在限水灌溉条件下实现高产与高水分利用效率相结合的理论与技术具有重要意义^[1]。建立合理的群体结构既是高产形成的基础,也是实现高水效的关键。然而,对不同品种、在不同生态栽培条件下,获取高产的群体结构虽然有共同的质量要求,但却可能有不同的个体形态特征及其数量组成,而不同的株群构型与数量组合,其水分利用效率可能有很大差异,需要深入探索小麦节水高产群体适宜结构指标及其调控途径^[2]。自 Mason 和 Maskell 1928 年提出了“源库”学说后,作物栽培生理理论探讨中,常用源、库关系阐明作物产量形成的规律,探索实现高产的途径^[3-6]。20 世纪 70 年代,日本学者曾提出,可用“粒叶比(单位面积粒数与叶面积之比)”来反映作物产量库/源比^[6-7]。近年来,我国许多学者将粒叶比作为品种光合生产力和“源库”协调性的指标^[8-10]。凌启鸿等以“粒叶比”为指标分析了稻麦高产栽培途径,认为粒/叶比是反映群体质量的综合指标,在最大叶面积指数基本相同条件下,粒叶比越大产量越高^[9]。在限水灌溉下对小麦不同基因型的聚类分析也表明^[10],单茎叶面积适中,粒叶比高的品种经济产量最高,粒叶比与经济产量具有正相关性。然而,粒叶比指标中的粒数是由单位面积穗数和穗粒数两个因素组成的,提高群体粒/叶比的途径可以是在一定穗数基础上增加穗粒数,也可以是在保证一定穗粒数基础上增加总穗数。在生产实践中,采取何种途径应考虑品种和生态条件。在华北地区气候生态条件下实行节水栽培,前期需要通过适当晚播来控制耗水,而后期又处于干旱和高温胁迫环境,提高穗粒数或粒重难度较大,穗数对群体库容的扩大和最终产量具有决定性影响^[1],因此,在适宜叶面积基础上增加穗数是提高粒叶比、进而提高产量的重要策略。同时,增加穗数也增加了群体非叶光合面积,对于后期逆境下光合供源的增加和维持也具有重要作用^[2]。相对于“粒叶比”来说,“穗叶比(单位面积穗数与叶面积之比)”可能是节水栽培群体更直接、更为适合的调控指标。为验证这一想法,明确穗叶比与产量和水分利用效率的关系,本研究基于华北平原冬小麦节水高产栽培要求^[1],考察了不同品种、不同水分条件、不同密度条件下群体穗叶比的变化,分析了穗叶比变化与群体光合生产、物质运转、产量和水分效率等的关系,探讨了穗叶比作为节水高产群体调控指标的可能性及其生理学意义,以期华北地区冬小麦节水高产实践提供指导。

1 材料与方法

1.1 试验地与气象条件

试验于 2001—2003 年在中国农业大学吴桥试验站进行。供试土壤为壤质底粘潮土,土层深厚,地下水位 6—9m,土壤肥力中等偏上,两年度播前测定的耕层养分含量基本相近,平均值为:有机质 1.1 g/kg,全氮 0.9 g/kg,碱解氮 70.6mg/kg,速效磷 21.1mg/kg,速效钾 90.5mg/kg。2001—2002 年度小麦生长期共降雨 53.5 mm,相当于常年平均降水量(124 mm)的 43%,属于严重干旱的年份;2002—2003 年度小麦生长期降水量为 112.1 mm,为平水年份。

1.2 试验材料与试验设计

1.2.1 田间不同灌水处理试验

2001/2002 年度供试品种为鲁麦 21,播种前浇底墒水 750 m³/hm²,于 2001 年 10 月 12 日播种,基本苗为 6×10⁶ 株/hm²。不浇冻水。试验设春季不灌水(W0)、春季灌 1 水(拔节期,W1)、春季灌 2 水(拔节+开花水,W2)和春季灌 4 水(起身+孕穗+开花+灌浆水,W4)4 个处理,每次灌水定额 750 m³/hm²,3 次重复,随机区组排列,共 12 个试验小区,小区面积 50 m²。

2002/2003 年度采用 2 个品种鲁麦 21 和石家庄 8 号,播种前浇底墒水 750 m³/hm²,于 2002 年 10 月 13 日

播种,基本苗为 6×10^6 株/hm²。不浇冻水。试验设春季不灌水(W0)、春季灌2水(拔节+开花,W2)和春季灌4水(起身+孕穗+开花+灌浆,W4)3个处理,每次灌水定额750 m³/hm²,3次重复,随机区组排列,共计18个试验小区,小区面积50 m²。

两个试验年度均按节水栽培技术施肥标准进行施肥,施肥量为有机肥(鸡粪+土杂粪)30 m³/hm²,磷酸二铵300 kg/hm²,硫酸钾150 kg/hm²,尿素225 kg/hm²,硫酸锌15 kg/hm²,均作底肥一次性施入。小区间有隔离带。其它田间措施按节水高产栽培技术^[1]实施。

1.2.2 限水灌溉下不同密度试验

2001/2002年度供试品种为莱州137,设置不同密度基本苗处理,包括: 3.0×10^6 株/hm²(P3)、 4.5×10^6 株/hm²(P4.5)、 5.25×10^6 株/hm²(P5.25)、 6.0×10^6 株/hm²(P6)、 6.75×10^6 株/hm²(P6.75)、 7.5×10^6 株/hm²(P7.5)6个处理,3次重复,随机区组排列,小区面积40m²。于2001年10月11日播种,播种前浇底墒水750m³/hm²,春季灌2水(拔节水+开花水,每次灌水定额750m³/hm²),施肥水平及其他管理措施同前述不同灌水试验。

2002/2003年度供试品种为鲁麦21和石家庄8号,分别设置基本苗 4.5×10^6 株/hm²(P4.5)、 6×10^6 株/hm²(P6)、 7.5×10^6 株/hm²(P7.5)3个处理,各处理3次重复,随机区组排列,小区面积40m²。于2003年10月13日播种,播种前浇底墒水750m³/hm²,春季灌2水(拔节水+开花水,每次灌水定额750m³/hm²),施肥水平及其他管理措施同前述不同灌水试验。

1.2.3 限水灌溉下品种比较试验

2001/2002年度选择穗型(大穗、小穗)、叶型(叶片大小)等不同的基因型品种材料23份,每品种小区面积8.4m²,重复3次。2001年10月12日播种,播前浇底墒水750 m³/hm²,春季拔节期灌1水(750 m³/hm²),施肥水平及其他管理措施同前述不同灌水试验。

1.3 测定内容与方法

1.3.1 植株绿色器官面积测定

于小麦各生育时期,从每处理小区选取2行、每行50cm典型样段带回室内,测量样段内所有植株各器官绿色面积。叶面积采用长宽系数法,穗面积的测定参照Teare^[11]和裘邵峰^[12]的方法,分别测穗颖片及芒的表面积,茎鞘面积按圆柱形表面积测定。

1.3.2 光合与呼吸速率测定

群体光合与呼吸测定参照董树亨^[13]同化箱法,同化箱体积为1m³,分别在抽穗、开花和灌浆期测定,每处理测3个重复。每次测定时间为10:00—11:00。

1.3.3 器官干重及贮藏物利用的测定

小麦开花后,每隔5d从不同处理小区取2行、每行50cm代表性样段,按叶片、茎鞘、穗颖和籽粒等分器官处理,80℃烘干至恒重,称量。根据下列公式计算非叶器官(茎鞘和穗颖)贮藏物利用指标:

总的贮藏物质转运量(g/m²)=器官最大干物重-成熟期器官干物重

总的贮藏物质转移率(%)=(器官最大干物重-成熟期器官干物重)/器官最大干物重×100

总的贮藏物质贡献率(%)=(器官最大干物重-成熟期器官干物重)/籽粒产量干重×100

开花前贮藏物质转运量(g/m²)=开花期器官干物重-成熟期器官干物重

开花前贮藏物质转移率(%)=(开花期器官干物重-成熟期器官干物重)/开花期器官干物重×100

开花前贮藏物质贡献率(%)=(开花期器官干物重-成熟期器官干物重)/籽粒产量干重×100

开花后贮藏物质转运量(g/m²)=总的贮藏物质转运量-开花前贮藏物质转运量

开花后贮藏物质贡献率(%)=(总的贮藏物质转运量-开花前贮藏物质转运量)/籽粒产量干重×100

1.3.4 考种与测产

小麦成熟时,分区调查和测定群体穗数、粒数和粒重。在各试验小区选取2m²×2代表性样点,单独收割、

脱粒测产。实测籽粒产量按 13% 籽粒含水量进行校正。同时,测算生物产量、收获指数等指标。

1.3.5 土壤水分含量与水分利用效率测定

在小麦播前和主要生育时期,分层测定 2m 土体内的土壤含水量,采用土壤水分平衡法计算不同处理的耗水状况。总耗水量和水分利用效率按如下公式计算:

$$\text{总耗水量} = \text{播前土壤贮水量} + \text{降水量} + \text{灌水量} - \text{收获后土壤贮水量}$$

$$\text{群体水分利用效率} = \text{籽粒产量} / \text{生育期内总耗水量}$$

1.3.6 穗叶比与粒叶比的测算

在调查群体实际穗数和测定叶面积基础上,按下式计算穗叶比和粒叶比:

$$\text{穗叶比} = \text{群体总有效穗数} / \text{群体上三叶总面积}$$

$$\text{粒叶比} = \text{群体(或单株)总粒数} / \text{群体(或单株)上三叶总面积}$$

2 结果与分析

2.1 不同处理下小麦群体粒叶比和穗叶比的变化

本文用粒叶比和穗叶比两个指标来反映小麦群体或个体库、源关系。由表 1、表 2 可见,两个年度不同小麦品种开花期的穗叶比均随着灌水减少、密度增加而显著增大,即单位叶面积承载的穗数增多。开花期粒叶比也表现出相似的变化趋势。说明,减少灌水次数明显限制了叶面积的增大,尤其是上三叶的面积,而在本试验范围内增加密度主要是扩大了库,其结果均使库容/叶面积相对比值增大。相关分析表明,两个年度不同灌水和密度处理下,开花期穗叶比与粒叶比均呈极显著正相关,相关系数分别为 0.7243 和 0.7664 ($P < 0.01$)。

在节水条件下,对 23 个小麦品种开花期穗叶比及相关指标的测定表明(表 2),穗叶比、粒叶比、经济产量、叶及非叶器官面积在品种间均存在较大差异,从变异系数来看,品种间粒叶比的变异系数要大于穗叶比的变异系数。总体来看,经济产量居前的品种其穗叶比和粒叶比亦表现较高。相关分析表明,在本试验条件下,穗叶比、粒叶比与经济产量均呈显著正相关,而且,穗叶比与粒叶比达到极显著的正相关($P < 0.01$)。以上结果说明,在晚播节水栽培下,穗叶比和粒叶比作为衡量库源关系的指标具有相对一致性。

表 1 不同灌水处理群体穗叶比的变化

Table 1 Ear-leaf area ratio of population in different irrigation treatments

年份 Year	品种 Variety	处理 Irrigation treatment	穗数 Ear number /(10 ⁴ 穗/hm ²)	穗粒数 Grains per ear	千粒重 10 ³ grain weight /g	经济产量 Actual yield /(kg/hm ²)	群体上 3 叶面积 Total area of up 3 leaves /(m ² /hm ²)	穗叶比 ear-leaf ratio /(穗/m ²)	粒叶比 grain-leaf ratio /(粒/cm ²)
2001/2002	鲁麦 21 LM-21	W0	744.0b	22.9 c	34.9 b	5497.5 c	21970c	338.7a	0.78a
		W1	784.5a	25.9 b	35.3 a	6769.5 b	32933b	238.2b	0.62b
		W2	793.5a	26.5 a	39.0 a	7555.5 a	33113b	239.6b	0.64b
		W4	828.0a	25.9 b	39.8 a	7948.5 a	37376a	221.5c	0.57c
2002/2003	鲁麦 21 LM-21	W0	630.8b	32.8 a	30.9 b	6453.5 b	22164c	284.6a	0.93a
		W2	683.7a	34.5 a	31.3 b	7523.3 a	27635b	247.4b	0.85b
		W4	769.1a	34.0 a	34.7 a	7086.9 a	41685a	184.5c	0.63c
	石家庄 8 号 S-8	W0	673.5b	31.4 a	41.1 b	7496.6 b	29216c	230.5a	0.72a
		W2	724.1a	32.4 a	41.8 b	7861.5 a	33663b	215.1a	0.70a
		W4	737.7a	32.1 a	44.3 a	7797.0 a	49079a	150.3b	0.48b

同列数据后不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著

2.2 穗/叶比与群体光合面积的关系

穗叶比为群体穗数与上三叶叶面积的比值,植株个体及群体光合面积的组成与分布必然影响到其比值高低。回归分析表明(图 1),开花期穗叶比与单茎叶面积、单茎非叶器官面积均呈显著的线性回归关系,即随着

单茎叶面积和单茎非叶面积降低,穗叶比明显增大。从群体角度分析发现(图2),不同灌水及密度处理下,穗叶比与叶面积指数(LAI)均呈极显著负相关,而非叶面积指数相关表现不尽一致,不同灌水处理下穗叶比与非叶面积指数(NAI)呈极显著负相关,不同密度处理下则表现为正相关关系,但未达到显著水平。也即,通过减少灌水次数或在有限灌溉下适当增加密度提高了穗叶比,主要是群体叶面积相对降低所致,而非叶面积并未显著减少,从而使群体内非叶绿色面积相对比例增加,这有利于开花后土壤水分亏缺条件下保持较高的群体光合活性。

表2 不同密度处理群体穗叶比的变化

Table 2 Ear-leaf ratio of population in different density treatments

年份 Year	品种 Variety	密度处理 Density treatment	穗数 Ear number /(10 ⁴ 穗/hm ²)	穗粒数 Grains per ear	千粒重 10 ³ grain weight /g	经济产量 Actual yield /(kg/hm ²)	群体上3 叶面积 Total area of up 3 leaves /(m ² /hm ²)	穗叶比 Ear-leaf ratio /(穗/m ²)	粒叶比 Grain-leaf ratio /(粒/cm ²)
2001/2002	莱州 137 LZ-137	P3.0	537.5c	38.4a	44.3a	6492.2c	24489c	219.5c	0.78b
		P4.5	612.5b	35.5b	43.4a	6821.6b	26643b	229.9b	0.80a
		P5.25	643.8b	33.5c	42.5a	6948.4b	27671a	232.7b	0.78b
		P6.0	706.3a	31.9c	41.4b	7051.4a	29749a	237.1b	0.80a
		P6.75	718.8a	31.3c	40.8b	7351.9a	27329a	263.0a	0.82a
		P7.5	750.0a	29.2c	40.4b	6602.6b	27135a	276.4a	0.81a
2002/2003	石家庄 8 号 SJZ-8	P4.5	686.0c	32.8a	42.0a	6975.0c	30623b	224.0b	0.73a
		P6.0	724.1b	32.4a	40.6b	7861.5b	30195b	239.8b	0.78a
		P7.5	869.1a	28.1b	40.5b	8277.2a	34547a	251.6a	0.71a
	鲁麦 21 LM-21	P4.5	650.6c	35.0a	32.4a	6722.9c	26993b	241.0c	0.84b
		P6.0	683.7b	34.5a	31.3b	7523.3b	26316b	259.8b	0.90b
		P7.5	870.2a	32.1b	31.3b	7858.8a	27690a	314.3a	1.01a

同列数据后不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著

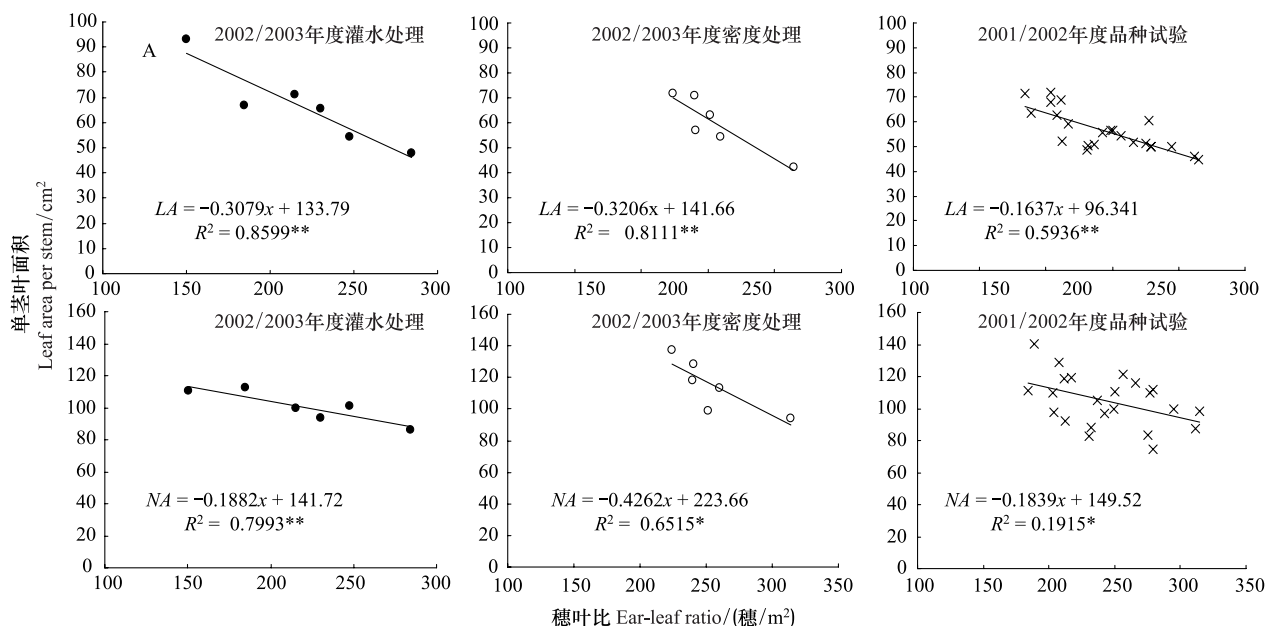


图1 群体穗叶比与单茎光合面积指标的关系

Fig. 1 Relationship between ear-leaf ratio and photosynthetic area indices per stem

表3 节水条件下不同冬小麦品种穗叶比及其相关指标的变化(开花期)

Table 3 Ear-leaf area ratio of population and related indices of different wheat varieties under water-saving irrigation treatment (anthesis)

品种名称 Variety name	单茎叶面积 leaf area per stem /(cm ² /株)	单茎非叶面积 Non-leaf area per stem /(cm ² /株)	上3叶面积 Total area of up 3 leaves /(cm ² /株)	穗数 Ear number /(10 ⁴ 穗/ hm ²)	穗粒数 Grains per ear	千粒重 10 ³ grain weight /g	穗叶比 Ear-leaf ratio /(穗/m ²)	粒叶比 Grain-leaf ratio /(粒/cm ²)	籽粒产量 Grain yield /(kg/hm ²)
76-2	51.41f	83.08l	36.30g	876.0c	29.6e	35.7h	275.5d	0.82b	9199.5a
石家庄8号 SJZ-8	56.69e	99.80i	40.14ef	744.0j	26.5g	45.3b	249.1g	0.66g	8733.0b
河农341HN341	68.82ab	118.98d	47.28c	729.0k	25.0h	47.3a	211.5lm	0.53m	8596.5c
周选2号 ZX-2	55.73e	97.21j	41.27e	805.5f	25.0h	39.7ef	242.3h	0.61i	8551.5cd
莱州137LZ137	50.05f	99.65i	33.90h	580.5p	38.0a	38.5fg	295.0b	1.12a	8476.5d
农大9921ND9921	51.71f	115.86e	37.66fg	898.5b	32.0c	34.8h	265.5e	0.61i	8350.5e
H163	44.58g	98.53ij	31.77i	700.5l	25.0h	45.7b	314.8a	0.79c	7974.0f
济南17JN17	49.78f	74.71m	35.79g	861.0d	24.6hi	37.6g	279.4c	0.69f	7932.0f
烟优361YY361	60.36d	109.73g	36.08g	774.0h	27.0fg	38.6fg	277.2cd	0.75d	7927.5f
农大981ND981	46.22g	87.79k	32.07hi	898.5b	23.0j	38.2fg	311.8a	0.72e	7725.0g
豫麦56YM56	71.83a	109.95g	49.19b	679.5m	23.6ij	48.0a	203.3o	0.48o	7623.0g
PH169	59.03de	119.42d	46.10c	750.0ij	23.0j	43.1c	216.9k	0.50n	7417.5h
京旺10号 JW-10	50.01f	111.69f	35.86g	850.5d	22.0k	40.4e	278.9cd	0.61i	7384.5hi
旱丰9703 GF9703	56.48e	110.41fg	39.98ef	760.5i	23.5ij	41.7d	250.1g	0.59j	7363.5hi
衡水6029 HS6029	50.39f	87.84k	43.10de	655.5n	29.0e	39.2f	232.0j	0.67g	7326.0hi
周选1号 ZX-1	68.10b	97.79j	49.04bc	600.0o	27.0fg	45.5b	203.9no	0.55l	7275.0i
95021	51.01f	104.82h	42.28de	790.5g	24.0i	39.4ef	236.5i	0.57k	7270.5i
品16 B16	71.64a	110.91fg	54.23a	531.0q	34.0b	41.3de	184.4q	0.63h	7242.0i
鲁麦21 LM21	54.37ef	121.31c	39.02f	756.0i	27.6f	34.9h	256.3f	0.71e	7170.0i
郑优8号 ZY-8	62.56c	128.91b	48.10bc	490.5r	30.4d	47.2a	207.9m	0.63h	6973.5j
莱州3279 LZ3279	48.80fg	82.96l	43.38d	829.5e	26.0g	31.5i	230.5j	0.60ij	6690.0k
烟农15 YN15	52.10f	72.53n	47.06c	1060.5a	20.0l	30.6i	212.5l	0.43p	6378.0l
9410	63.53c	140.54a	52.94a	610.5o	23.0j	38.8f	188.9p	0.43p	5326.5m
平均值	56.31	103.67	41.85	749.2	26.5	40.1	244.5	0.64	7604.6
标准差	8.07	17.16	6.50	133.72	4.18	4.87	38.00	0.15	854.55
变异系数(%)	14.3	16.6	15.5	17.9	15.8	12.1	15.5	23.1	11.2

同列数据后不同小写字母表示在0.05水平上差异显著

2.3 穗/叶比与群体光合速率和呼吸速率的关系

对2年不同密度处理开花期的群体光合与呼吸速率进行了测定。回归分析结果表明(图3),开花期穗叶比与群体光合、呼吸速率均呈二次抛物线关系,相关系数检验分别达极显著和显著水平,即在一定范围内随着穗叶比的增大,群体光合速率和呼吸速率都相应增加。2002/2003年度,随着穗叶比增大群体光合的增加幅度略大于群体呼吸的增幅;2001/2002年度,群体光合的增加幅度明显大于群体呼吸的增幅,导致净光合物质生产增多。对回归方程求极值可知,两个年度群体光合速率达到最大值时的穗叶比分别为270穗/m²和255穗/m²。说明,在冬小麦节水栽培中,通过增加种植密度增加穗数,使开花期穗叶比达到适宜较高值,可改善小麦群体内的光照状况,提高产量形成期群体的光合物质生产能力。

2.4 穗/叶比与贮藏物质利用的关系

小麦籽粒产量一方面来自于开花后光合生产并直接运输到籽粒中的物质,另一方面来自于花前和花后贮藏于植株体而后再运转到籽粒中的物质,非叶器官茎鞘和穗颖是主要的暂时贮藏器官。对不同灌水处理、不同密度处理非叶器官(茎鞘+穗颖)贮藏物质转运的分析表明(表4),随着灌水次数减少或种植密度增加,非

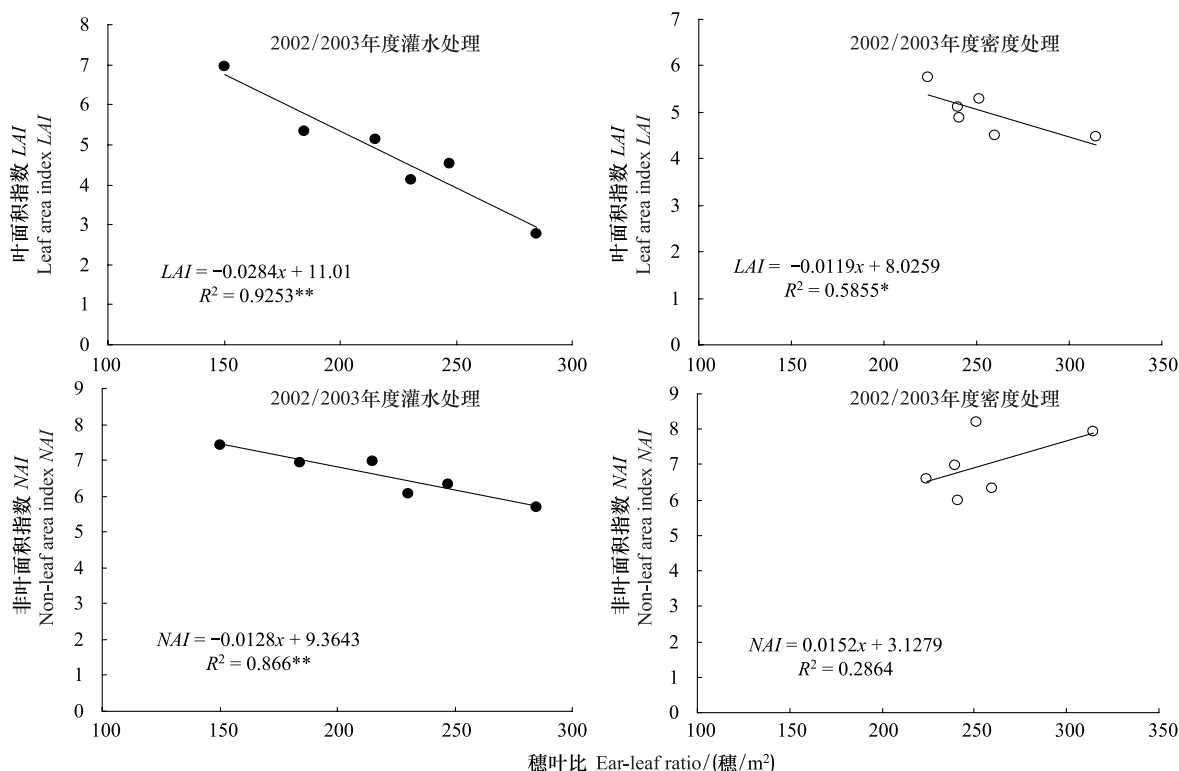


图2 群体穗叶比与群体光合面积指标的关系

Fig. 2 Relationship between ear-leaf ratio and photosynthetic area indices in canopy

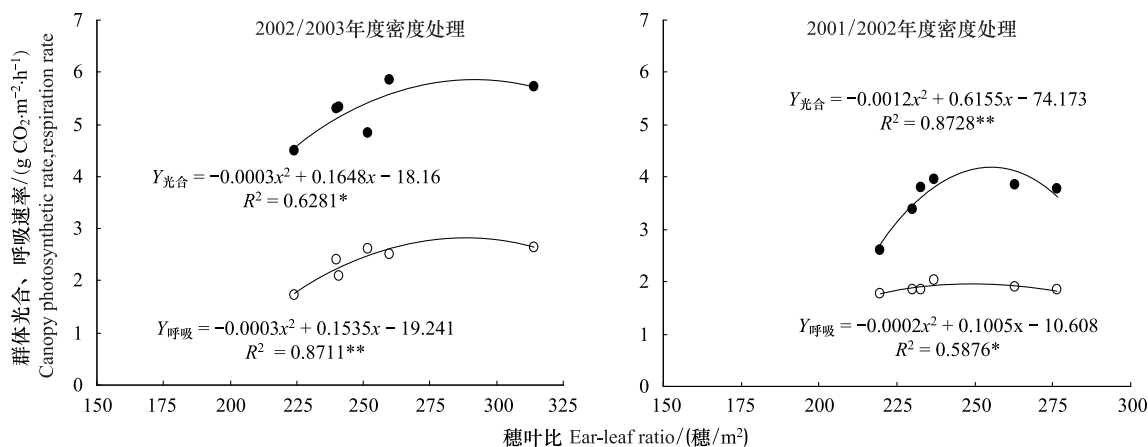


图3 开花期穗叶比与群体光合、呼吸速率的关系

Fig. 3 Relationship between ear-leaf ratio and photosynthetic rate and respiration rate of population at anthesis

叶器官贮藏物质转运量、转移率及对籽粒的贡献率均明显增加。如在春浇2水的节水栽培条件下,非叶器官平均总的贮藏物质转运量、转移率和对籽粒贡献率分别为 357.8 g/m^2 、40.3%和46.5%,其中花前对应数值为 185.8 g/m^2 、26.3%和24.2%,花后贮藏物转运量和贡献率分别为 172.0 g/m^2 和22.2%;叶片平均总的贮藏物质转运量、转移率和对籽粒贡献率分别为 115.0 g/m^2 、48.4%和15.1%,其中花前对应数值为 71.2 g/m^2 、36.9%和9.3%,花后转运量和贡献率分别为 43.8 g/m^2 和5.7%。非叶器官贮藏物质转移率低于叶片,但转运量和对籽粒贡献率显著高于叶片。

统计分析表明,开花期穗叶比与非叶器官贮藏物质转移率呈显著线性相关(图4),与贮藏物对产量的贡

献率也存在相关性,但相关不显著,与贮藏物转运量无明显的线性关系。说明,增加穗叶比可促进非叶器官贮藏物质的转移和经济利用。

表 4 非叶器官物质再分配及其对籽粒的贡献(2002/2003)
Table 4 Reallocation of dry weight(DW) and contribution to grains of non-leaf organs after anthesis

品种 Variety	处理 Treat- ment	开花期	花后最大	成熟期	总贮藏物			开花前贮藏物			开花后贮藏物		穗叶比 Ear-leaf ratio
		干重	干重值	干重	Total reserve			Reserve pre-anthesis			Reserve post-anthesis		
		DW _a (g/m ²)	DW _t (g/m ²)	DW _m (g/m ²)	转运量 (g/m ²)	转移率 /%	贡献率 /%	转运量 (g/m ²)	转移率 /%	贡献率 /%	转运量 (g/m ²)	贡献率 /%	
石 8 号	W0	730.2c	925.6b	504.1c	421.4a	45.5a	56.3a	226.1a	31.0a	30.2a	195.4a	26.1a	230.5a
	W2	769.1b	983.0a	559.6b	423.4a	43.1a	51.0a	209.5b	27.3b	25.2b	213.9a	25.8a	215.1a
	W4	804.0a	935.2b	611.7a	323.5b	34.6b	40.7b	192.3b	23.9c	24.2b	131.2b	16.5b	150.3b
鲁 21	W0	621.9b	784.3b	436.5c	347.8a	44.3a	54.1a	185.4a	29.8a	28.9a	162.3a	25.3a	284.6a
	W2	666.3a	835.8a	503.2b	332.6a	39.8b	46.2b	163.1a	24.5b	22.6b	169.5a	23.5a	247.4b
	W4	688.0a	824.5a	552.8a	271.8b	33.0c	39.4c	125.3b	18.2c	18.2b	136.5b	19.8b	184.5c
石 8 号	P4.5	746.0b	834.4c	551.7a	282.7b	33.9b	36.5b	194.3b	26.0b	25.1a	88.4b	11.4b	224.0b
	P6.0	769.1a	983.0a	559.6a	423.4a	43.1a	51.0a	209.5b	27.3b	25.2a	213.9a	25.8a	239.8b
	P7.5	735.2b	959.4b	509.2b	450.2a	46.9a	52.8a	226.1a	30.7a	26.5a	224.2a	26.3a	251.6a
鲁 21	P4.5	670.9a	723.1b	457.6b	265.6c	36.7b	41.4b	143.0b	21.3b	22.3b	52.2c	8.1c	241.0c
	P6.0	666.3a	835.8a	503.2a	332.6b	39.8b	46.2b	163.1a	24.5b	22.6b	169.5b	23.5b	259.8b
	P7.5	615.3b	859.7a	437.1b	422.5a	49.2a	57.8a	178.2a	29.0a	24.4a	244.3a	33.4a	314.3a

同列数据后不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著

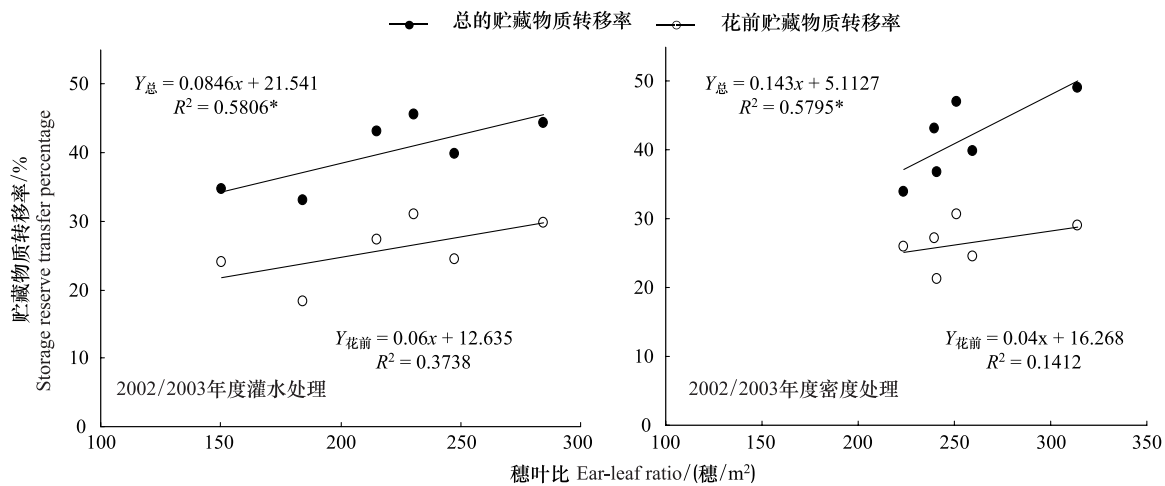


图 4 穗叶比与非叶器官物质转运的关系
Fig. 4 Relationship between ear-leaf ratio and remobilization of reserve in non-leaf organs

2.5 穗/叶比与产量和收获指数的关系

由图 5 可见,不同处理下群体穗叶比与籽粒产量均符合二次抛物线曲线变化,相关系数检验达到显著或极显著水平。对回归方程分别求导并综合分析得出,经济产量达到最大值的适宜穗叶比值为 230—270 穗/m²。

不同密度处理及不同品种处理下,开花期群体穗叶比与收获指数均呈极显著正相关,即在节水条件下,选择高穗叶比品种或通过增加密度增大穗叶比,均可显著提高收获指数。

2.6 穗/叶比与耗水量和水分利用效率的关系

由图 6 可见,不同灌水处理下穗叶比与总耗水量呈极显著的负相关关系,而不同密度处理下穗叶比与总

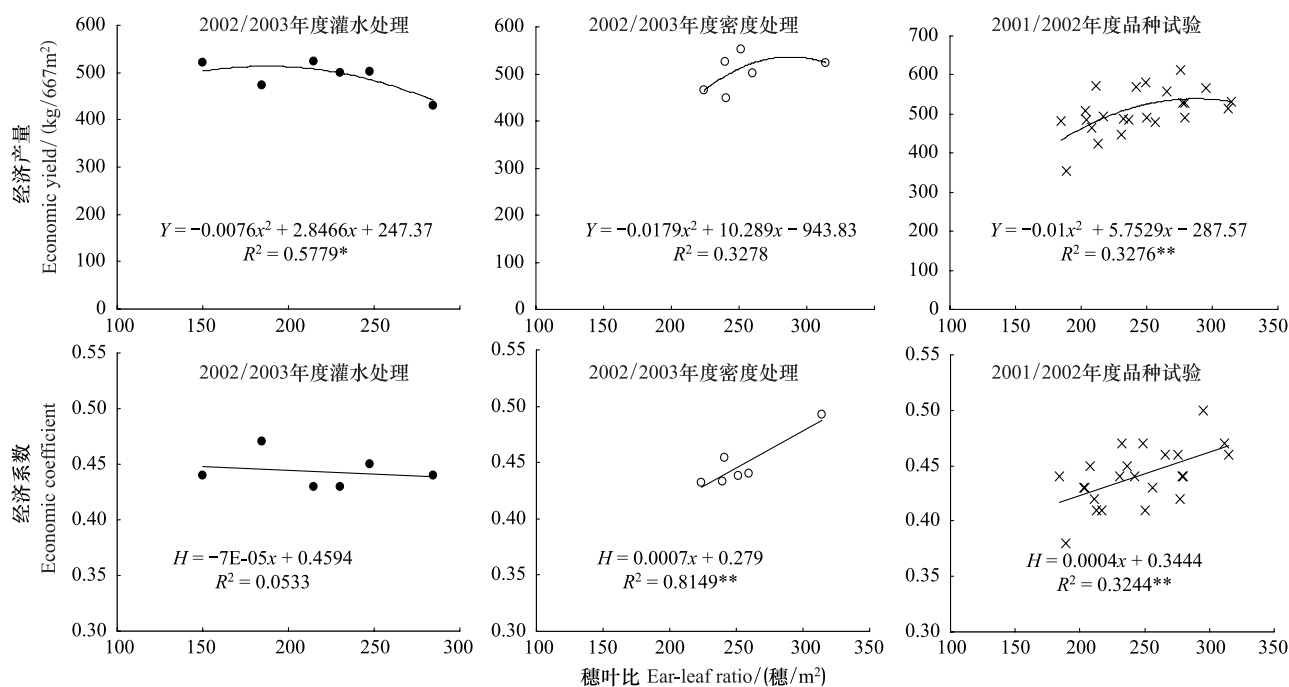


图5 穗叶比与经济产量和收获指数的关系

Fig.5 Relationship between ear-leaf ratio and yield, harvest index

耗水量的相关关系不明显,但仍可看出较高的穗叶比易获得较低的耗水量;不同处理下穗叶比与水分利用效率(WUE)均呈抛物线关系,即在一定范围内,随着穗叶比的增加,冬小麦生育期总耗水量明显减少,而水分利用效率则显著提高。对回归方程分别求解得出,获得最高WUE的穗叶比值为250穗/m²左右。

3 讨论

源库学说认为,作物产量既取决于源的光合物质生产能力,又取决于库的大小和库强度,较大的库容和库强度可促进光合物质源的生产与运转^[14-15]。高产栽培需要建立合理的群体结构,以协调源-库关系。小麦高产的途径可以走“小群体、壮个体”途径,也可以走“大群体、小个体”途径,关键是因地制宜,通过密度与株型的合理组配,扩库强源,使源、库在高水平上协调^[6]。华北地区冬小麦实施节水栽培,需要适当推迟播期以减少前期水分消耗,而在晚播和有限的水分供给下,增加穗粒数的潜力有限,扩大群体库容量的重点是增加穗数,应在确保足够穗数的基础上稳定穗粒数。晚播增穗的可靠方式是增加基本苗,因此必须走大群体高产之路。在大群体条件下,若叶面积过分扩大,则会使中后期群体恶化,叶片遮光,光合生产率下降,而无效呼吸、无效耗水增加,源库不能协调。因此必须控制叶面积,在适宜的叶面积范围之内增穗扩库。许多研究表明,粒叶比是反映群体源库是否协调的综合指标^[8-10]。本研究表明,在限水灌溉条件下,小麦群体穗叶比与粒叶比具有显著的正相关性。由于穗数和叶面积均在孕穗前基本决定且易观察,因此穗叶比可以作为小麦节水高产栽培群体源库关系的适宜调控指标。

小麦的光合源器官不仅包括叶片,还包括穗、茎、鞘等非叶绿色器官,因此,穗/叶比既是库/源比指标,也是非叶源/叶源比指标。在小麦抽穗后,直立分布于群体上层的穗、穗下节间和旗叶鞘这些非叶器官不仅具有光、CO₂截获的空间优势,而且具有逆境下的光合生理优势。近年来的研究表明^[16-21]:小麦穗部器官具有旱生型结构;水势相对稳定;具有较高的PEP羧化酶活性,并可能存在类C4型光合代谢机制;籽粒呼吸释放的CO₂能被穗苞片(护颖、内外稃)重新固定。在干旱和高温胁迫下,叶片功能易早衰,而穗等非叶器官光合具有较强的稳定性,对产量具有较大贡献。穗等非叶绿色器官与叶片相比,具有逆境下的高光合潜力和相对节水优势。因此,在适宜叶面积基础上适当增加穗数,既可增加群体非叶绿色面积,从而扩大群体光合面积,也可增强群体光合耐逆性能。从本研究结果看,随着灌水减少或密度增加,开花和灌浆期的穗/叶比均相应增

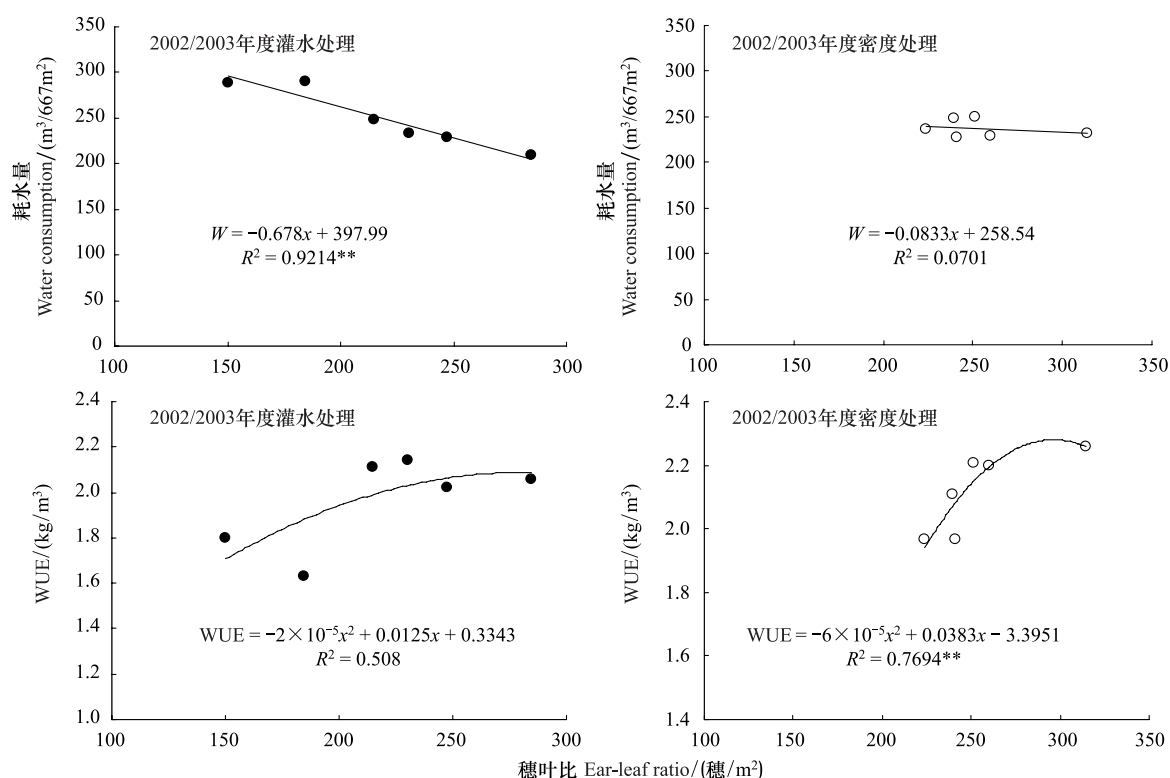


图6 穗叶比与耗水量和 WUE 的关系

Fig. 6 Relationship between ear-leaf ratio and water consumption, WUE

大,说明控制灌水主要抑制了叶源的增大,而在限水灌溉下适当增大密度则相对增大了穗库容。回归分析表明,随着穗叶比增大,群体叶面积指数(LAI)虽明显降低,但非叶面积指数(NAI)却维持相对较高水平;而且灌浆期群体光合速率显著增加。同时,穗/叶比与营养器官贮藏物质转运率呈正相关关系,这说明库/源比的提高促进了贮藏物质转运,增加了花前贮藏物对籽粒产量的贡献。因此,穗叶比可作为节水栽培群体光合系统质量的调控指标。在小麦节水栽培体系中,通过限制供水来控制叶片面积并提高叶片质量,通过增加密度来提高群体中非叶绿色器官的比例,增加穗/叶比,可以充分发挥非叶绿色器官的抗旱节水作用和光合潜力,并促进贮藏物质运转,有利于维持或增加后期产量形成的物质供源。

叶片是光合器官,也是主要的蒸腾器官。叶面积较大,而经济器官(穗)比例较小的群体,耗水多,水分利用不经济^[10]。在有限供水条件下,适当控制叶面积,有利于提高水分利用效率^[22]。本研究发现,群体穗叶比与经济产量的关系符合二次抛物线曲线变化,穗叶比与收获指数则呈极显著正相关。从水分利用方面看,穗叶比增加,冬小麦生育期总耗水量明显减少,而水分利用效率则显著提高。因此,稳定适宜叶面积、适当增加穗/叶比,创造适宜穗叶比的群体结构,可以实现高产与高水效的结合。综合分析认为,冬小麦节水高产栽培群体上3叶适宜叶面积指数约为 (3 ± 0.2) ,适宜的穗/叶比值为230—270穗/㎡,即每平方米高效叶面积可承载的穗数最适值在230—270穗之间。

References:

- [1] Lan L W, Zhou D X. Studies on Water-Saving and High-Yielding of Winter Wheat. Beijing: China Agricultural University Press, 1995.
- [2] Zhang Y P, Wang Z M, Wang P, Zhao M. Canopy photosynthetic characteristics of population of winter wheat in water-saving and high-yielding cultivation. Scientia Agricultura Sinica, 2003, 36(10): 1143-1149.
- [3] Cao X Z, Zhu Q S. Study on characteristics of the relationship between source and sink in rice varieties and their classification. Acta Agronomica Sinica, 1987, 13(4): 265-272.
- [4] Guo W S, Feng C N, Yan L L, Peng Y X, Zhu X K, Zong A G. Analysis on source-sink relationship after anthesis in wheat. Acta Agronomica Sinica, 2003, 30(1): 11-16.

- Sinica, 1995, 21(3): 334-340.
- [5] Koshkin E I, Tararina V V. Yield and source/sink relations of spring wheat cultivars. *Field Crop Research*, 1989, 22(4): 297-306.
- [6] Wang Z M, Fang B T. A review on theoretical models and development of yield analysis in crop production system. *Journal of China Agricultural University*, 2009, 14(1): 1-7.
- [7] Welbank P J, Witts K J, Thorne G N. Effect of radiation and temperature on efficiency of cereal leaves during grain growth. *Annals of Botany*, 1968, 32(1): 79-95.
- [8] Yan X P, Zhao X L, Yen M Q. A study on the grain-leaf ratio of wheat. *Journal of Henan Agricultural University*, 1989, 23(2): 103-108.
- [9] Ling Q H, Yang J C. Studies on “grain-leaf ratio” of population and cultural approaches of high yield in rice plants. *Scientia Agricultura Sinica*, 1986, (3): 1-8.
- [10] Zhang Y P, Wang Z M, Wu Y C. Analysis on photosynthetic characteristics of wheat variety under the water-saving and high-yielding cultivation condition. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 2004, 19(3): 47-54.
- [11] Teare I D, Law A G, Simmons G F. Stomatal frequency and distribution on the inflorescence of *Triticum aestivum* L. *Canadian Journal of Plant Science*, 1992, 52(1): 89-94.
- [12] Qiu S F, Zai L Y. The estimation for surface area of spike and awn of the common wheat. *Acta Agronomica Sinica*, 1985, 11(2): 138-144.
- [13] Dong S T. Studies on the relationship between canopy apparent photosynthesis and grain yield in high-yielding winter wheat. *Acta Agronomica Sinica*, 1991, 17(6): 461-469.
- [14] Blade S F, Baker R J. Kernel weight response to source-sink changes in spring wheat. *Crop Science*, 1991, 31(5): 1117-1120.
- [15] Plaut Z, Mayoral M L, Reinhold L. Effect of altered sink: source ratio on photosynthetic metabolism of source leaves. *Plant Physiology*, 1987, 85(3): 786-791.
- [16] Morgan J M. Osmotic adjustment in the spikelets and leaves of wheat. *Journal of Experimental Botany*, 1980, 31(2): 655-665.
- [17] Wang Z M, Wei A L. Photosynthetic characteristics of non-leaf organs of winter wheat cultivars differing in ear type and their relationship with grain mass per ear. *Photosynthetica*, 2001, 39(2): 239-244.
- [18] Araus J L, Brown H R, Febrero A, Bort J, Serret M D. Ear photosynthesis, carbon isotope discrimination and the contribution of respiratory CO₂ to differences in grain mass in durum wheat. *Plant, Cell and Environment*, 1993, 16(4): 383-392.
- [19] Wei A L, Wang Z M, Zhai Z X, Gong Y S. Effect of soil drought on C₄ photosynthesis enzyme activities of flag leaf and ear in wheat. *Scientia Agricultura Sinica*, 2003, 36(5): 508-512.
- [20] Xu X L, Zhang Y H, Wang Z M. Effect of heat stress during grain filling on phosphoenolpyruvate carboxylase and ribulose-1, 5-bisphosphate carboxylase/oxygenase activities of various green organs in winter wheat. *Photosynthetica*, 2004, 42(2): 317-320.
- [21] Xu X L, Zhang Y H, Wang Z M. Effect of heat stress on photosynthetic characteristics of different green organs in winter wheat during grain-filling. *Acta Botanica Sinica*, 2001, 43(6): 571-577.
- [22] Richards R A. Manipulation of leaf area and its effect on grain yield in droughted wheat. *Australian Journal of Agricultural Research*, 1983, 34(1): 23-31.

参考文献:

- [1] 兰林旺, 周殿玺. 小麦节水高产研究. 北京: 中国农业大学出版社, 1995.
- [2] 张永平, 王志敏, 王璞, 赵明. 冬小麦节水高产栽培群体光合特征. *中国农业科学*, 2003, 36(10): 1143-1149.
- [3] 曹显祖, 朱庆森. 水稻品种的库源特征及其类型划分的研究. *作物学报*, 1987, 13(4): 265-272.
- [4] 郭文善, 封超年, 严六零, 彭永欣, 朱新开, 宗爱国. 小麦开花后源库关系分析. *作物学报*, 1995, 21(3): 334-340.
- [6] 王志敏, 方保停. 论作物生产系统产量分析的理论模式及其发展. *中国农业大学学报*, 2009, 14(1): 1-7.
- [8] 阎新甫, 赵献林, 任明全. 小麦粒叶比的研究. *河南农业大学学报*, 1989, 23(2): 103-108.
- [9] 凌启鸿, 杨建昌. 水稻群体“粒叶比”与高产栽培途径的研究. *中国农业科学*, 1986, (3): 1-8.
- [10] 张永平, 王志敏, 吴永成. 节水高产栽培小麦品种光合性状分析. *华北农学报*, 2004, 19(3): 47-54.
- [12] 裘昭峰, 翟立业. 小麦穗和芒面积的估测. *作物学报*, 1985, 11(2): 138-144.
- [13] 董树亭. 高产冬小麦群体光合能力与产量关系的研究. *作物学报*, 1991, 17(6): 461-469.
- [19] 魏爱丽, 王志敏, 翟志席, 龚元石. 开花后水分胁迫对小麦不同器官 C₄ 光合酶活性的影响. *中国农业科学*, 2003, 36(5): 508-512.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 33, No. 12 Jun. ,2013(Semimonthly)

CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

- Research on the disturbance of frost damage to forests LI Xiufen, ZHU Jiaojun, WANG Qingli, et al (3563)
- Advances in salt-tolerance mechanisms of *Suaeda* plants ZHANG Aiqin, PANG Qiuying, YAN Xiufeng (3575)

Autecology & Fundamentals

- Simulation and prediction of spatial patterns of *Robinia pseudoacacia* flowering dates in eastern China's warm temperate zone
..... XU Lin, CHEN Xiaoqiu, DU Xing (3584)
- Response of leaf functional traits of *Betula ermanii* saplings to the altitudinal Variation
..... HU Qipeng, GUO Zhihua, SUN Lingling, et al (3594)
- Analysis of genetic diversity of chinese pine (*Pinus tabulaeformis*) natural secondary forest populations and correlation with theirs
habitat ecological factors LI Ming, WANG Shuxiang, GAO Baojia (3602)
- Nitrogen addition affects root growth, phosphorus and nitrogen efficiency of three provenances of *Schima superba* in barren soil
..... ZHANG Rui, WANG Yi, JIN Guoqing, et al (3611)
- Effect of enclosure on soil C mineralization and priming effect in *Stipa grandis* grassland of Inner Mongolia
..... WANG Ruomeng, DONG Kuanhu, HE Nianpeng, et al (3622)
- Effects of slope position on gas exchange characteristics of main tree species for vegetation restoration in dry-hot valley of Jingsha
River DUAN Aiguo, ZHANG Jianguo, HE Caiyun, et al (3630)
- Impacts of biodegradation on desorption of phenol adsorbed on black carbon and soil
..... HUANG Jiexun, MO Jianmin, LI Feili, et al (3639)
- Physiological and biochemical responses to different soil drought stress in three tree species
..... WU Qin, ZHANG Guangcan, PEI Bin, et al (3648)
- The ear-leaf ratio of population is related to yield and water use efficiency in the water-saving cultivation system of winter wheat
..... ZHANG Yongping, ZHANG Yinghua, HUANG Qin, et al (3657)
- Effects of ozone stress on photosynthesis, dry matter production and yield of rice under different seedling quality and plant density ...
..... PENG Bin, LI Panlin, ZHOU Nan, et al (3668)
- Effects of water and nitrogen under root restriction on photosynthetic characters of cotton plants grown with under-mulch drip
irrigation TAO Xianping, LUO Honghai, ZHANG Yali, et al (3676)
- The influence of light and growth stage on oxygen diffusion capacity of *Acorus calamus* roots
..... WANG Wenlin, WANG Guoxiang, WAN Yinjing, et al (3688)
- Isolation, screening and characterization of phytopathogen antagonistic endophytes from wild *Artemisia argyi*
..... XU Yajun, ZHAO Longfei, CHEN Pu, et al (3697)
- Performance of the two host-biotypes of *Aphis gossypii* (Hemiptera: Aphididae) on different cucurbitaceous host plants
..... XIAO Yunli, YIN Xiangchu, LIU Tongxian (3706)
- The effects of gender and temperature on the wintering behavior of Chinese merganser
..... ZENG Binbin, SHAO Mingqin, LAI Hongqing, et al (3712)

Population, Community and Ecosystem

- Assessment indicators system of forest ecosystem health based on the disturbance in Wangqing forestry
..... YUAN Fei, ZHANG Xingyao, LIANG Jun (3722)
- Heterogeneity evaluation of forest ecological system spatial structure in Dongting Lake
..... LI Jianjun, LIU Shuai, ZHANG Huiru, et al (3732)

Landscape, Regional and Global Ecology

- Climate-growth relationships of *Abies faxoniana* from different elevations at Miyaluo, western Sichuan, China
..... XU Ning, WANG Xiaochun, ZHANG Yuandong, et al (3742)

- Spatial-temporal distribution of net primary productivity and its relationship with climate factors in Inner Mongolia from 2001 to 2010 MU Shaojie, LI Jianlong, ZHOU Wei, et al (3752)
- Influences of topographic features on the distribution and evolution of landscape in the coastal wetland of Yancheng
..... HOU Minghang, LIU Hongyu, ZHANG Huabing, et al (3765)
- Vegetation landscape pattern change and characteristics of spatial distribution in south edge of Mu Us Sandy Land
..... ZHOU Shuqin, JING Yaodong, ZHANG Qingfeng, et al (3774)
- Climate change recorded mainly by pollen from baixian lake during the last 5.5kaB. P.
..... DU Rongrong, CHEN Jing'an, ZENG Yan, et al (3783)
- Characteristics of temperature field, humidity field and their eco-environmental effects in spring in the typical valley-city
..... LI Guodong, ZHANG Junhua, WANG Naiang, et al (3792)
- Spatial and temporal variation of surface water vapor over northern and southern regions of Qinling Mountains
..... JIANG Chong, WANG Fei, YU Xiaoyong, et al (3805)
- Spatial variation of landscape eco-risk in open mine area WU Jiansheng, QIAO Na, PENG Jian, et al (3816)
- The comparison of ecological geographica regionlization in China based on Holdridge and CCA analysis
..... KONG Yan, JIANG Hong, ZHANG Xiuying, et al (3825)
- Resource and Industrial Ecology**
- Agricultural eco-efficiency evaluation in China based on SBM model PAN Dan, YING Ruiyao (3837)
- The emergy analysis of large yellow croaker (*Larimichthys crocea*) aquaculture system around Dongji island in Zhoushan
..... SONG Ke, ZHAO Sheng, CAI Huiwen, et al (3846)
- Optimum stripe arrangement for inter-cropping and mixed-cropping of different maize (*Zea mays* L.) genotypes
..... ZHAO Yali, KANG Jie, LIU Tianxue, et al (3855)
- Effects of climate and soil on the carotenoid and cuticular extract content of cured tobacco leaves
..... CHEN Wei, XIONG Jing, CHEN Yi, et al (3865)
- Urban, Rural and Social Ecology**
- Carbon sequestration and oxygen release as well as cooling and humidification efficiency of the main greening tree species of
Sha River, Chengdu ZHANG Yanli, FEI Shimin, LI Zhiyong, et al (3878)

《生态学报》2013 年征订启事

《生态学报》是由中国科学技术协会主管,中国生态学学会、中国科学院生态环境研究中心主办的生态学高级专业学术期刊,创刊于 1981 年,报道生态学领域前沿理论和原始创新性研究成果。坚持“百花齐放,百家争鸣”的方针,依靠和团结广大生态学科工作者,探索生态学奥秘,为生态学基础理论研究搭建交流平台,促进生态学研究深入发展,为我国培养和造就生态学科人才和知识创新服务、为国民经济建设和发展服务。

《生态学报》主要报道生态学及各分支学科的重要基础理论和应用研究的原始创新性科研成果。特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评价和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,300 页,国内定价 90 元/册,全年定价 2160 元。

国内邮发代号:82-7,国外邮发代号:M670

标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

本期责任副主编 吴文良

编辑部主任 孔红梅

执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报

(SHENGTAI XUEBAO)

(半月刊 1981 年 3 月创刊)

第 33 卷 第 12 期 (2013 年 6 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 12 (June, 2013)

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	王如松	Editor-in-chief	WANG Rusong
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 90.00 元