

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

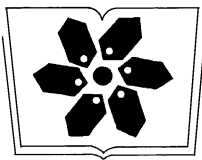
Acta Ecologica Sinica



第31卷 第9期 Vol.31 No.9 **2011**

中国生态学会
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 31 卷 第 9 期

2011 年 5 月 (半月刊)

目 次

EAM 会议专刊述评——气候变化下旱区农业生态系统的可持续性	李凤民, Kadambot H. M Siddique, Neil C Turner, 等 (I)
第二届生态系统评估与管理(EAM)国际会议综述	李朴芳, 赵旭喆, 程正国, 等 (2349)
应对全球气候变化的干旱农业生态系统研究——第二届 EAM 国际会议青年学者论坛综述	赵旭喆, 李朴芳, Kadambot H. M Siddique, 等 (2356)
微集雨模式与降雨变律对燕麦大田水生态过程的影响	强生才, 张恒嘉, 莫非, 等 (2365)
黑河中游春小麦需水量空间分布	王 瑶, 赵传燕, 田风霞, 等 (2374)
祁连山区青海云杉林蒸腾耗水估算	田风霞, 赵传燕, 冯兆东 (2383)
甘肃小陇山不同针叶林凋落物量、养分储量及持水特性	常雅军, 陈 琦, 曹 靖, 等 (2392)
灌水频率对河西走廊绿洲菊芋生活史对策及产量形成的影响	张恒嘉, 黄高宝, 杨 斌 (2401)
玛纳斯河流域水资源可持续利用评价方法	杨 广, 何新林, 李俊峰, 等 (2407)
西北旱寒区地理、地形因素与降雨量及平均温度的相关性——以甘肃省为例	杨 森, 孙国钧, 何文莹, 等 (2414)
黑河河岸植被与环境因子间的相互作用	许莎莎, 孙国钧, 刘慧明, 等 (2421)
干旱胁迫对高山柳和沙棘幼苗光合生理特征的影响	蔡海霞, 吴福忠, 杨万勤 (2430)
树锦鸡儿、柠条锦鸡儿、小叶锦鸡儿和鹰嘴豆干旱适应能力比较	方向文, 李凤民, 张海娜, 等 (2437)
胡杨异形叶绿素荧光特性对高温的响应	王海珍, 韩 路, 徐雅丽, 等 (2444)
柠条平茬处理后不同组织游离氨基酸含量	张海娜, 方向文, 蒋志荣, 等 (2454)
玛河流域扇缘带盐穗木土壤速效养分的“肥岛”特征	涂锦娜, 熊友才, 张 霞, 等 (2461)
摩西球囊霉对三叶鬼针草保护酶活性的影响	宋会兴, 钟章成, 杨万勤, 等 (2471)
燕麦属不同倍性种质资源抗旱性状评价及筛选	彭远英, 颜红海, 郭来春, 等 (2478)
光周期对燕麦生育时期和穗分化的影响	赵宝平, 张 娜, 任长忠, 等 (2492)
水肥条件对新老两个春小麦品种竞争能力和产量关系的影响	杜京旗, 魏盼盼, 袁自强, 等 (2501)
猪场沼液对蔬菜病原菌的抑制作用	尚 斌, 陈永杏, 陶秀萍, 等 (2509)
不同夏季填闲作物种植对设施菜地土壤无机氮残留和淋洗的影响	王芝义, 郭瑞英, 李凤民 (2516)
不同群体结构夏玉米灌浆期光合特征和产量变化	卫 丽, 熊友才, Baoluo Ma, 等 (2524)
脱硫废弃物对碱胁迫下油菜幼叶细胞钙分布及 Ca^{2+} -ATPase 活性的影响	毛桂莲, 许 兴, 郑国琦, 等 (2532)
过去 30a 玛纳斯河流域生态安全格局与农业生产力演变	王月健, 徐海量, 王 成, 等 (2539)
基于 RS 和转移矩阵的泾河流域生态承载力时空动态评价	岳东霞, 杜 军, 刘俊艳, 等 (2550)
毛乌素沙地农牧生态系统能值分析与耦合关系	胡兵辉, 廖允成 (2559)
民勤绿洲农田生态系统服务价值变化及其影响因子的回归分析	岳东霞, 杜 军, 巩 杰, 等 (2567)
青岛市城市绿地生态系统的环境净化服务价值	张绪良, 徐宗军, 张朝晖, 等 (2576)
基于 3S 技术的祖厉河流域农村人均纯收入空间相关性分析	许宝泉, 施为群 (2585)
专论与综述	
全球变化下植物物候研究的关键问题	莫非, 赵 鸿, 王建永, 等 (2593)
区域气候变化统计降尺度研究进展	朱宏伟, 杨 森, 赵旭喆, 等 (2602)
干旱胁迫下植物根源化学信号研究进展	李冀南, 李朴芳, 孔海燕, 等 (2610)
山黧豆毒素 ODAP 的生物合成及与抗逆性关系研究进展	张大伟, 邢更妹, 熊友才, 等 (2621)
旱地小麦理想株型研究进展	李朴芳, 程正国, 赵 鸿, 等 (2631)
小麦干旱诱导蛋白及相关基因研究进展	张小丰, 孔海燕, 李朴芳, 等 (2641)

期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 306 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 35 * 2011-05



封面图说: 覆膜-垄作燕麦种植——反映了雨水高效利用和农田水生态过程的优化(详见强生才 P2365)。

彩图提供: 兰州大学干旱与草地生态教育部重点实验室莫非 E-mail: mofei371@163.com

旱地小麦理想株型研究进展

李朴芳¹, 程正国¹, 赵 鸿¹, 张小丰¹, 李冀南¹, 王绍明², 熊友才^{1,2,*}

(1. 兰州大学干旱与草地生态教育部重点实验室, 甘肃兰州 730000;

2. 石河子大学/新疆生产建设兵团绿洲生态农业重点实验室, 新疆石河子 832003)

摘要:理想株型选择是旱地小麦节水栽培和高产育种的重要前提。围绕群体条件下旱地小麦产量形成、节水效率和干旱适应性等关键指标,从根型、茎型、叶型和穗型4个方面总结了旱地小麦株型演变规律和调控机理。旱地小麦从野生近缘种二倍体和四倍体向现代六倍体进化的漫长演变过程中,株型经历了从“高根冠比、低收获指数、高冠幅/株高比、小穗和种子扁长”等“杂草”型向“低根冠比、高收获指数和高粒叶比及小冠幅/株高、大穗多粒”的“作物”型的演变。从株型各组件演变规律看,根型以根系大小适中、根条数较多、根系生理活性较高为主;茎型以各茎节长度比例趋近“黄金分割”演变,株高控制在80—100 cm左右的适中高度;叶型以叶片直立、旗叶长宽比例适中为主,倒二叶长维持在20 cm左右;穗型以直立、大穗和小穗数多为主;单株分蘖数趋于减少,株型结构趋于紧凑。上述组件特征将促使旱地小麦向弱竞争能力的方向发展。总之,旱地小麦经历了自然选择和人工选择双重压力,其株型结构有利于群体产量和水分利用效率提高,从而获得较高的种群适合度。

关键词:旱地小麦;理想株型;演变;研究进展

Current progress in plant ideotype research of dryland wheat (*Triticum aestivum* L.)

LI Pufang¹, CHENG Zhengguo¹, ZHAO Hong¹, ZHANG Xiaofeng¹, LI Jinan¹, WANG Shaoming², XIONG Youcai^{1,2,*}

1 MOE Key Laboratory of Arid and Grassland Ecology, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China

2 Key Laboratory of Oasis Eco-Agriculture of Xinjiang Binton, Shihezi University, Shihezi 832003, China

Abstract: Donald (1968) proposed the general term “ideotype” as a biological model that performs or behaves in predictable manner in a given environment. The definition of “ideotype” is widely considered as a combination of genotype and phenotype. In water-deficit environment, crop ideotype as a plant model is mainly expected to yield a great quantity of grain or other useful product. The selection for crop ideotype is an important prerequisite for water-saving cultivation and high-yield breeding program in dryland wheat (*Triticum aestivum* L.). It is widely based on “defect elimination” or “selection for yield” under drying environment. The valuable additional approach is available through the breeding of model characteristics known to influence photosynthesis, growth and grain production. This paper summarizes the evolution history of plant type for dryland wheat and its regulatory mechanism according to four components including root type, stem type, leaf type and spike type, based on several critical criteria including yield formation and drought adaptation under population conditions. Dryland wheat ideotype aims to minimise demand on resources per unit of dry matter produced. Over the long evolutionary course from wild diploid and tetraploid, to modern hexaploidy varieties, the wheat has been evolving from the weed type of “high root to shoot ratio, low harvest index, high canopy/height ratio, small spike and prolate seed” to the crop type of “low root to shoot ratio, high harvest index and high grain-leaf ratio and small canopy/height, large spike and grain number”. Considering the evolutionary rules of plant type components, the structure and function of the major organs

基金项目:国家自然科学基金项目(30970447和31070372);教育部新世纪优秀人才支持计划项目(NCET-07-0396);兰州大学人才引进专项(582449);国家公益性行业(气象)科研专项子课题(GYHY200806021-06)

收稿日期:2010-10-31; **修订日期:**2011-02-21

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: xiongy@lzu.edu.cn

have been increasingly strengthening in dryland hexaploid wheat. Root type is mainly developing towards moderate root system size, more root number and higher root physical vigor; stem type is concentrated on the length ratio of stem internode approaching “golden section”, and the plant height is kept on the ideal value of 80—100 cm. Leaf type is mainly featured by erect leaf, moderate aspect ratio of flag leaf, and backward second leaf to maintain about 20 cm as the moderate length. Spike type has been evolving towards erect spike, large spike and more seeds per spike. The number of tillers per plant tends to reduce, and plant architecture is becoming more compact. These criteria are to be satisfied especially under the conditions of high density of population. Dryland wheat has gone through double pressures including natural selection and artificial selection, in which the structure of plant architecture is conducive to increased population yield and water use efficiency, and accordingly obtains higher population fitness. According to Nicholson (1962), natural selection may be seen to operate through two mechanisms: environmental selection and competition. Modern dryland wheat as annual seed crop has experienced long-term artificial selection pressure, which contains a variety of modifications on morphological characters mainly including tallness, leafy canopy, tillering and root characters. However, the design of dryland wheat ideotype is likely to involve concurrent modification of the criteria mentioned above. Therefore, the wheat ideotype described here will call for consideration of the density of planting, dry matter distribution model and weak community competitiveness.

Key Words: dryland wheat; ideal plant type; evolution; overview

对于作物理想株型的研究,最早可追溯到 1400 年前的《齐民要术》中关于“早熟者苗短而收多,晚熟者苗长而收少”之类的描述。而真正出现“株型”这一概念则是在 20 世纪初期。Engledow 等提出通过适当杂交的方法和产量因素的最佳组合,把各种高产性状聚集在一起,从而形成高产的“最优合成体”。1968 年,澳大利亚学者 C. M. Donald 首次提出了作物理想株型这一重要概念,指出理想株型是指植株个体间竞争强度最小、而籽粒的同化物积累尽量增大的株型^[1]。现代小麦以六倍体为主,分为冬小麦和春小麦两大类,占总栽培面积的 90% 以上^[2]。在干旱和半干旱地区,栽培小麦品种几乎都是六倍体品种。在过去四十多年间,国内外学者开始对作物“株型”展开了广泛的研究^[3-4],尤其是针对旱地小麦的株型研究取得了一系列突出进展。

在干旱和半干旱地区,栽培小麦品种几乎都是六倍体品种。在年降雨量为 300—550 mm 的半干旱雨养农业区以及年降雨量在 300 mm 以下的绿洲灌溉农业区,小麦作物的生长既受“低水多变”的土壤环境的制约,也受“干热多风”的大气环境的影响。在土壤-大气双重干旱胁迫下,作物逐渐形成了一系列独特的水分利用策略和生活史对策,这些适应策略均以其外在表现特征——株型变异为物质基础。当前,旱地小麦的株型变异和进化规律研究已经成为生态学和农学最活跃的交叉学科领域。从旱地小麦理想株型应当具备节水与高产的要求出发^[2],农学界和生态学界对旱地小麦理想株型进行了大量而深入的研究,包括根系发育特征,叶面积及叶表层蜡质性状,株高与节间配置、分蘖习性、穗芒性状等各个株型要素^[5]。由于作物表型性状的直观性和可塑性,加强对旱地作物株型演变研究将为其水分的高效利用和高产稳产提供直接的科学依据,该领域的研究成果也为干旱和半干旱地区小麦的栽培管理和丰产育种提供了巨大潜力。本文围绕旱地小麦根型、茎型、叶型和穗型等特征,对近年来国内外研究进展和存在的问题进行总结,旨在为旱地小麦株型的相关研究提供理论参考。

1 不同倍体小麦株型演变总体趋势

小麦在从二倍体野生近缘种进化到现代六倍体品种的漫长过程中经历了复杂的自然环境变化和人工选择压力^[6]。在漫长演化进程中,旱地小麦的株型演变承受了自然和人工的双重选择压力,具有清晰的变化规律。从二倍体到四倍体主要是自然选择的结果,株型从松散状的杂草型向形态紧凑的作物型嬗变;从四倍体到六倍体则主要是以产量为目标的人工选择的结果,这些变化显著的减小了现代小麦的根冠比,株型从强竞争型向弱竞争型转变^[7-8]。人工选择降低了个体间的竞争强度,提高了种群适合度,提高了群体产量和水分

利用效率^[9-10]。在旱地小麦的野生近缘种和栽培品种之间、二倍体和四倍体品种之间、现代六倍体古老品种和现代品种之间,株型演变梯度差异显著,蕴含着复杂的生态与进化机理^[11-13]。

通过对不同倍体小麦在干旱胁迫下的株型变异研究,结果发现对于不同倍体小麦,根系分布特征由野生近缘种和古老栽培品种的“深而广”逐渐演变为现代品种的“浅而窄”^[14-15]。这种转变显著地提高了根系活力和资源利用效率,为小麦的密植高产提供了可能^[16]。从整体株型来看,单株分蘖数逐渐减少,株高逐渐增加。株高的增加可通过增长节间长度或增加节间数来实现,并且不同小麦株型演化中茎秆基茎变短对小麦茎秆的增高并无负面效应。分蘖数的减少有利于资源更多地配置到主株的垂直分配上,从而提高植株高度。我们前期研究结论表明,对于叶面积,小麦植株主要光合叶片(旗叶、倒2叶和倒3叶)的叶面积从二倍体-四倍体-六倍体均呈逐渐增大的趋势,而叶片长/宽比却表现为逐渐变小。进一步研究表明,上三片叶的“生物量”与产量的关联度均大于“叶位高度”的关联度,叶片的“质量效应”大于其“空间着生效应”^[12]。从种群生态学的角度看,小麦由野生品种进化到以群体高产为目标的现代品种,其株型演化总体趋势为根系不断减小,但质量却在不断提高,株高在不断增高,叶型向着短而宽的方向演化,株型各性状的这些变化在规避种群内部竞争的同时,又增大了群体水平上的光捕捉面积^[12],这种进化策略使得现代小麦群体产量得到了大幅度的提高。

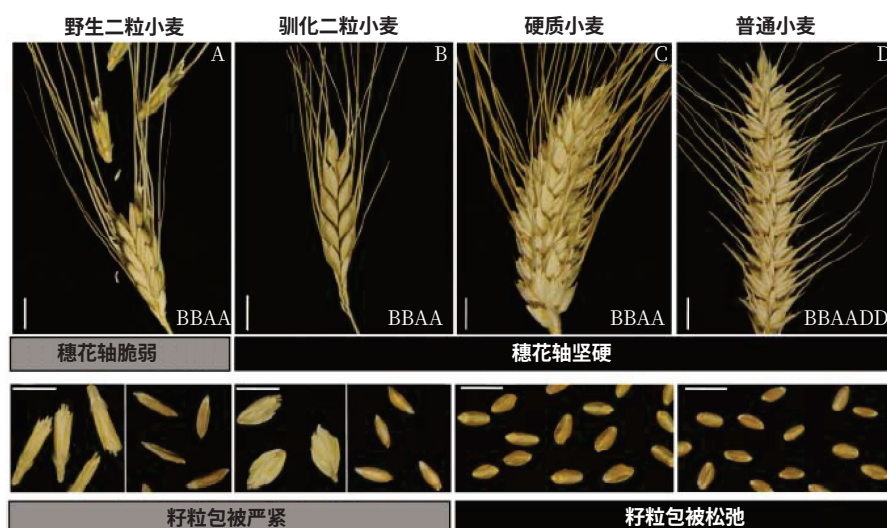


图1 小麦穗型演化过程:由野生品种穗花轴脆弱易碎、籽粒包被严紧演化为现代品种小麦穗花轴坚硬、籽粒包被松弛^[19]

Fig. 1 Wheat Spike showing (A) brittle rachis (B to D) nonbrittle rachis (A and B) hulled grain, and (C and D) naked grain (A) Wild emmer wheat, (B) domesticated emmer, (C) durum, and (D) common wheat. White scale bars represent 1 cm; Letters at the lower corner indicate the genome formula of each type of wheat; Gene symbols: Br, brittle rachis; Tg, tenacious glumes; and Q, square head

旱地小麦的野生近缘种包括二倍体和四倍体两种类型,几乎所有的二倍体品种和部分四倍体品种具有“高根冠比、低收获指数、高冠幅/株高比”等“杂草”型株型特征,且穗型一般为“小穗、种子扁长、包被紧实”的野生型性状。部分四倍体品种的根冠比、收获指数和冠幅/株高比值趋向与六倍体品种接近或类似,穗型也接近六倍体,反映了从二倍体到四倍体再到六倍体的漫长进化历史中株型的嬗变过程(图1)。对于六倍体小麦来说,其株型具有“低根冠比、高收获指数和高粒叶比及小冠幅/株高”的“作物”型株型特征,穗型具有“大穗多粒、种子短圆、包被松弛”的“人工驯化”型性状(图2)^[13,17-18]。

2 现代六倍体旱地小麦株型演变

现代小麦是世界三大主粮作物之一。它是通过遗传育种手段选育出来的、具有高产高效且被广泛种植的栽培作物。现代小麦以人工选择为动力,以群体的高产高效为目标。在干旱条件下,小麦的株型要素围绕提高水分利用效率和干旱适应能力,实现群体水平上源流库的高水平协调与平衡。随着遗传育种和生物技术的飞速发展,现代六倍体品种经历了从古老品种到现代品种的更迭,各种株型指标包括根型、茎型、叶型和穗型等表现出有规律的变化。

2.1 根型演变

根构型是指植物根系中根的类型、各级别根的几何尺寸以及在生长介质中的空间造型和动态分布,根构型决定了植物吸收和传导水分、养分的能力^[20]。根系在小麦生长发育过程中发挥着重要作用,其发育程度直接影响着地上部分的形态及最终籽粒产量、品质性状的表达,因此根系的生长与地上部分的发育关系密切。

半干旱地区的小麦,水分不足是主导限制因子,竞争主要是根系竞争,根系大小决定了个体竞争能力^[21-22]。长期以来,大根系一直作为衡量抗旱性的重要指标^[23]。然而,追求大根系的育种方法却未能给干旱、半干旱地区作物产量带来实质性的提高,不少学者对此提出了质疑^[24-25]。张大勇通过对半干旱地区作物根系生长冗余研究指出,在水分有限的条件下,植物往往要形成庞大的根系来提高个体竞争力,但这种行为对群体水平上的产量而言是不利的,在根系生长上往往失之过大,而出现“冗余”^[8]。这与缺水环境中的野生植物常常有很高的根冠比,而在栽培种上,根冠比则适当降低是相互印证的^[26]。同样有研究得出旱地小麦进化

过程中根冠比逐渐减小是后期人工选择使得物质分配流向发生了变化的结果,旱地小麦地上部分物质运输占据更多的优势,这是植物适应波动环境的一种生态策略^[27]。此外,Siddique 等对澳大利亚近 100 多年来选育出来的 9 个典型小麦品种进行的比较研究发现:现代新品种的水分利用效率要显著高于过去的老品种,这与其根系生长的不同有关^[28]。这些均说明现代六倍体旱地小麦根构型的演化是自然选择高个体生存竞争力与人工干涉规避个体间竞争以提高群体水平产量这两个因素共同作用的结果。

以高产冬小麦为例,旱地小麦根系必须既有一定的数量(根重量),又有较高的质量(生理活性)。与一般小麦相比发根时间早,单株次生根数及分枝数多,根毛密集,根系生物量大,入土深,且分布范围广,功能期长,在实现超高产过程中发挥了重要作用。根系在土壤中的垂直分布状态是自上而下层层递减,根系条数和生物量都符合自上而下锥型递减模式^[29]。并且有学者指出具有 5 条初生根的品种与具有 3 条初生根的品种相比能形成较高的籽粒产量^[30]。此外,现代六倍体小麦不同根-苗类型与土壤水分利用关系研究表明,旱地小麦高产壮苗类型根系垂直递减度小,深层根量相对较多,不仅消耗土壤表层水分较少,而且中后期遇到土壤干旱时有利于充分利用深层土壤水分,而弱苗类型则根量少,不能充分利用土壤水分^[31]。简而言之,现代六倍体旱地小麦生存条件恶劣多变,上层土壤往往处于干旱状态,实现节水与高产的双重目标要求小麦根系能尽量利用土壤深层水分和养分,并提高水肥资源利用效率,需要根系具有理想的根层构型,即初生根数目多,初生根/次生根比值高,根系下扎深,深层根量大、下层根/上层根比值高以及根活力高^[32-34]。

2.2 茎秆演变

适当的株高、合理的节间配置及粗茎秆是小麦茎秆的理想株型特征。株高太高往往易造成倒伏,太矮可能导致冠层结构不合理和生物量不足^[35]。研究表明:适当降低株高不但能起到耐肥、抗倒作用,更重要的是可以提高收获指数,这是现代六倍体小麦高产的主要原因^[36]。同样研究发现,过去 70a 间,英国小麦品种,株高从 130cm 降低到 70cm 左右,收获指数已由 34% 提高到 50%,这个数值可能还会继续提高到 62%^[37]。就茎内同化物分配改变来说,降低株高而节省下来的同化产物会立即投入到穗的发育中去,其结果是增加籽粒结实数^[38]。相反,株高如过低,则叶层势必密集、互相遮荫而降低净同化率、光合面积缩小,不利于物质积累,

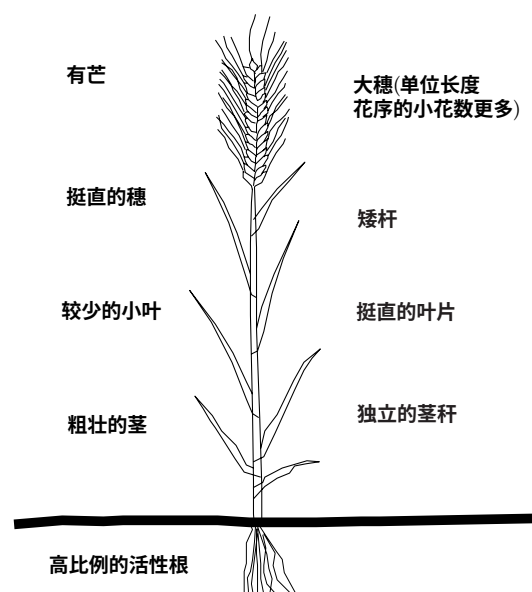


图2 群体条件下小麦高产理想株性模式图(参照 Donald C M, 1968, 稍做修改)^[1]

Fig.2 A basic wheat ideotype, designed to give a high yield as a crop community

最终影响籽粒产量。

现代旱地小麦既要对于旱有较强的适应性,同时又要求功能叶片空间展布合理,植株具有一定抗倒伏能力,因此株高在 85—100cm 之间,穗下节长占秆高的 40% 以上的株型较为理想^[39]。相关研究表明自 20 世纪五六十年代至今,旱地小麦株高有明显的下降趋势,这与当前生产上要求的抗倒伏和增加种植密度以提高产量相适应^[40]。现代六倍体小麦品种其上下节间长度配置具有一定的比例,株高构成指数近似趋于“黄金分割比”。对超高产基因型小麦的研究得出超高产小麦均具有株高为 (79.1 ± 6.1) cm,穗及 5 个节间长成一定比例,基部株高构成指数大于“黄金分割”值 0.618,上部和中部则小于“黄金分割”值,且大小基本相等等特点,说明现有超高产基因型较前期高产基因型株高降低,且降低部分主要是中上部节间的缩短^[41]。总之,在对高产的追求下,旱地小麦在人工驯化的过程中株高降低,节间配置趋向于“黄金分割比”,其株高及节间配置的相互变化趋于合理化^[42],以达到耐肥、抗倒伏,茎内同化物质最大量的投入穗中,从而提高收获指数,增加产量。

2.3 叶型演变

叶是小麦光合、呼吸和蒸腾作用的重要器官,小麦籽粒产量主要是由生育后期冠层尤其是旗叶的光合作用提供,因此高产小麦高的生产能力与其相应的叶型是分不开的。小麦的叶主要由叶片、叶鞘、叶脉等组成。叶片主要以叶长、叶宽、叶面积、叶夹角、叶片叶绿素的含量、叶片的生理特性、比叶重等组成特征来衡量。

现代六倍体旱地小麦单株总叶面积特别是单株旗叶面积花后下降较为缓慢,功能期较长,这些特征有利于籽粒灌浆和产量提高^[21,43]。现代抗旱品种小麦,旗叶叶面积下降减缓,下部叶片光合功能也得到了逐渐增强以达到增加叶面积指数,并提高了产量,增强了抗旱能力。此结论很好的验证了现代旱地小麦拔节期叶面积系数与旱地产量和抗旱指数呈极显著正相关。另外,现代旱地小麦品种具有较高的净同化率,叶片旱性构造发达,即叶蜡被物多,比叶厚度大,决定了现代旱地小麦强大的持水抗旱能力^[44]。

现代六倍体冬小麦按株型紧凑与否,叶型可分为叶片直立、叶片半直立、叶片下披 3 类,其中叶片直立和半直立型易获得高产和稳产^[45]。叶片不完全直立也不完全批垂,这种中间动态类型叶片具有明显的优势,这种类型的叶片前期是直立的,随后批垂,这种叶片动态变化使得早期阳光能够更好的渗入,当批垂以后能截取更多的入射阳光,这样旗叶就不至于因为下部叶片的衰老而衰老^[46]。同样有学者认为叶片层次合理,旗叶不能太长也不能太宽,倒二叶要求适中,一般保持 20cm 左右,株叶应呈塔状长相,这样的株型结构透光性好。还有研究表明高产小麦叶面积变化特点是前期增长不能太快,要稳健发展,中期注意控制上部叶片,不要长得过于宽大,以免影响株间透光,后期要保护旗叶和倒二叶,使其不过旺早衰,以保持旺盛的光合能力^[47]。较大叶面积可以截获较高光能量、在小麦灌浆期保持有较大的 LAI,相应增加了光合作用的“源”,对小麦灌浆,增加籽粒“库”的干重,起到十分重要的作用^[48]。

2.4 穗型演变

小麦的产量是由单位面积穗数,每穗粒数和粒重 3 个因素组成,任何一个因素的变化都将受到另外两个因素的影响。小麦是密植作物,在保证单位面积有足够穗数的基础上,穗数、穗粒数及粒重之间达到较高水平的协调,才能获得高产(图 3)^[49]。穗型也是影响产量的一个重要因素。麦穗相对直立,不但有利于自身的光合作用,而且其遮光面积小,也有利于其它器官的光合作用。同时穗也是小麦的非叶绿色器官,具有明显的光合生理优势,它对产量的贡献仅次于叶^[50]。

现代六倍体小麦品种穗型可分为 3 种类型:多穗型、中穗型和大穗型。旱地小麦在灌浆后期,叶片迅速衰老,非叶器官仍能维持较大的绿色面积,持绿时间较长,穗光合对籽粒重的相对贡献率远大于旗叶叶片。Araus 等报道,硬粒小麦籽粒中的物质大部分来自穗器官,穗光合对产量的贡献率在 59% 以上^[51]。

现代六倍体小麦 3 种穗型都能够达到超高产,但在大田生产中,多穗型、中间型小麦品种比大穗型品种表现出更强的生产能力^[52]。究其原因主要是 3 个品种类型的源库结构(配置)及源库协调性差异造成的,多穗型品种的库容潜力(千粒重)较大,而源相对偏小,中穗型品种的源库协调性最好,依源库理论看是最易实现

高产、超高产的类型,大穗型品种穗大粒多,一般认为其库大而源相对不足,因而籽粒灌浆不饱。大穗型品种的弱点即分蘖力较弱,分蘖成穗率较低,常因单位面积穗数不足和经济系数较低而限制其产量潜力的发挥^[53]。现代六倍体小麦产量的提高,在群体穗数达到一定限度以后,必然要向增大穗长的方向发展。

综上所述,多穗型、中穗型旱地六倍体小麦源库配置较为合理。它们具有较强的分蘖力,较高的分蘖成穗率,保证了充足的库容的同时在灌浆后期,缺水环境下叶片迅速衰亡后,非叶器官穗、茎、鞘仍能维持较大的绿色面积,持绿时间较长,有利于应对干旱缺水环境,保证自身高的产量。但穗数不能偏多,偏多会引起倒伏,造成群体郁蔽,光合产物浪费,使得穗粒重降低,从而降低产量。

3 旱地小麦同化物的分配

同化物是在叶片中合成或者从其它器官中贮藏的物质转化而来,通过维管束运输,各个器官从维管束中吸收同化物加以利用,因此所有的器官或组织都可以分为源(source)、库(pool)和汇(sink)三类^[54]。同化物分配过程对植物结构的形成起重要作用,是植物适应各种环境限制的一种重要策略^[55-59]。影响同化物分配的因素有植物遗传特性、生理过程和环境因子三类。其中环境因素影响同化物生产、同化物运输及同化物的吸收利用,且对同化物在整个植株上的分配产生影响。

叶片、穗、茎鞘、芒等都是同化物十分重要的源,而源的生产则是产量形成的基础。干旱胁迫条件下,麦类籽粒中同化物质主要来源于灌浆前的积累,而干旱会加速营养器官中储存营养物的分解与输出^[60]。叶片是主要的光合器官,一直以来人们习惯用叶片作为源的衡量指标^[58]。然而许多学者研究认为旗叶节以上部位是产量形成的主要贡献者,甚至研究表明籽粒穗器官对籽粒产量的贡献大于旗叶^[51,62-63]。干旱胁迫条件下的剪叶、包穗及包茎实验研究光合作用对作物产量的影响,表明干旱缺水使得小麦茎鞘、茎鞘储存物对产量贡献大幅度下降,但仍然是最主要的源,茎鞘可合成同化物质能量资源,并且还充当着同化物“临时周转站”的作用,这些“临时库”内的同化物的再动员,可对产量形成一个有效补偿机制^[53];穗对产量的贡献率显著提高,它也是产量形成的另一个重要的源,而叶对产量的贡献不及前者^[64-65]。旱地小麦分蘖成穗作为产量库容的一部分,其分蘖期短,成穗率较低,应以主茎成穗为主,在基本苗数和营养水平下,应使其分化形成足够的小穗数,保证在生育中后期每穗分化成小花数和结实粒数增加,以形成较大的库容;小麦穗部维管系统作为光合产物向籽粒的运输的通道,在干旱缺水环境下,穗轴维管束数目随着穗轴节位的上升,穗轴维管束递减,穗轴上部维管束面积明显小于下部,水分亏缺严重影响了小麦穗部维管组织的发育,也使同化物向籽粒的运输受到影响,从而影响小麦产量。

对最大叶面积指数、粒叶比及产量三者之间关系研究表明,产量是建立在一定叶面积基础上的,单纯强调扩源或扩大单位叶面积上的库容,结果并不能实现增产^[66]。源是物质基础,而库的大小对源的调运能力又具有反馈调节作用,流的又影响着光合产物从源端向库端输送的状况。旱地小麦的高产就是要实现在干旱环境下小麦源流库的高水平协调与平衡,在一定群体叶面积基础上,提高粒叶比,促使源库协调发展,既在适宜栽培密度下,提高库对源的调运能力。这其中粒叶比(粒/cm²、mg/cm²)反映了小麦源库协调发展的状况,可以作为衡量小麦源库是否协调发展的重要指标^[67-69]。

4 结语

株型是反映作物群体结构与群体光合态势的综合性状,在不同的生态条件下适应的株型不同,特定基因

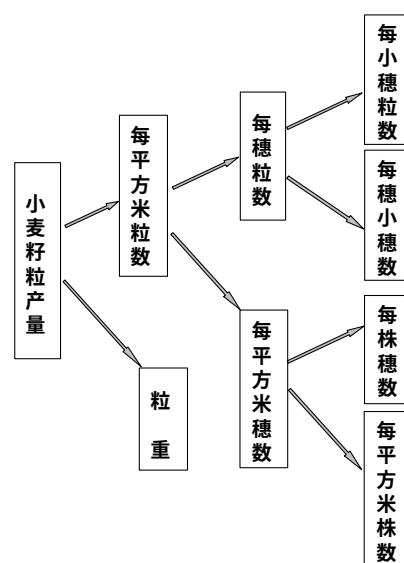


图3 籽粒产量构成因子的数量图解(参照 Slafer G A 等, 1994, 稍做修改)^[51]

Fig. 3 Quantative figure of the yield components

型在不同的生态条件下的反应亦不同。要实现作物的高产必须将株型与群体结合在一起考虑,培育出光合产物多、消耗少、分配合理的株型,从而协调源流库和产量的关系^[70-71]。由于作物生产是个种群过程,而非个体反应,故旱地小麦的株型选择总体上是围绕群体水平上的产量最优这一重要标准^[72]。

小麦作为自然选择与人工压力双重作用下的生态群,以群体的高产为目标,其株型演化过程具有强烈的人工作用痕迹,演化趋势向着个体各性状功能不断增强的同时,利用功能效应弥补空间效应上的不足,来规避群体内个体间竞争,实现群体水平上的产量最大化。目前,对于年降雨量在 300—550 mm 的半干旱雨养农业区,现代六倍体旱地小麦理想株型表现为:根型以根系大小适中、根条数较多、根系生理活性较高为主;茎型指数以“黄金分割”比例为基本原则,株高控制在 80—100 cm 左右具有较高的适宜度;叶型以叶片直立、旗叶长宽比例适中,倒二叶维持在 20 cm 左右的适中长度;穗型要求直立、多粒、穗大和穗数多为主。由于半干旱地区“低水多变”的土壤环境和“干热多风”的大气环境,旱地小麦的株型选择应综合考虑特异性生境与基因型的互作效应。

References:

- [1] Donald C M. The breeding of crop ideotypes. *Euphytica*, 1968, 17(3): 385-403.
- [2] Guo T C. Wheat and the taxonomy of its relative relationship. *Acta Agriculturae Universitatis Henanensis*, 1985, 19(3): 208-230.
- [3] Wu Y C, Zhou S L, Zhang Y P, Wang Z M. Discussion of plant shapes of high-yield and water-saving wheat. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2005, 2(3): 126-130.
- [4] Deng X P, Lun S, Shino I, Mitsuhiro I. Water-saving approaches for improving wheat production. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2005, 85(8): 1379-1388.
- [5] Allard R W. Population structure and sampling methods // Frankel O H, Bennett E, eds. *Genetic resources in plants-their exploration and conservation*. IBP/Blackwell, London, 1970: 97-108.
- [6] Kenichi T, George W. How fast was wild wheat domesticated?. *Science*, 2006, 311(31): 1886.
- [7] Donald C M. Competitive plants. Communal plants and yield in wheat crops // Evans L T, Peacock W J, eds. *Wheat science today and tomorrow*. Cambridge: Cambridge University Press, 1981.
- [8] Zhang D Y, Sun G J, Jiang X H. Donald's ideotype and growth redundancy: a game theoretical analysis, *Field Crops Research*, 1999, 61(2): 179-187.
- [9] Dong L L, Wei C H, Ma X J, Zhang R. The relationship between competitive ability and productive performance of sprig wheat cultivars. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(10): 4203-4208.
- [10] Hang M L, Deng X P, Zhou S L, Zhao Y Z. Grain yield and water use efficiency of diploid, tetraploid and hexaploid wheats. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(3): 1113-1121.
- [11] Ogbonnaya F C, Halloran G M, Lagudah E S. D Genome of wheat-R60 years on from kihara, sears and McFadden. *Frontiers of Wheat Bioscience*, 2006: 205-220.
- [12] Reif J C, Zhang P, Dreisigacker S. Wheat genetic diversity trends during domestication and breeding. *Theoretical and Applied Genetics*, 2005, 110(5): 859-864.
- [13] Zhao S L, Li F M, Zhang D Y, Duan S S. Crop production is a population process. *Ecologica Sinica*, 1997, 17(1): 100-106.
- [14] Siddique K H M, Belford R K, Tennant D. Root: shoot ratio of old and modern, tall and semidwarf wheat in a Mediterranean environment. *Plant and Soil*, 1990, 121: 89-98.
- [15] Siddique K H M. Water use and water use efficiency of old and modern wheat cultivars in Mediterranean type environment. *Aust J. Agric. res*, 1990, 41: 431-437.
- [16] Li P F. Evolution of plant type and ecological adaptability in different-ploidy wheat under drought stress(unpublished). Master Degree thesis of Lanzhou University, 2010: 1-3.
- [17] Liu J H, Sun J Y, Dai T B, Jiang D, Jing Q, Cao W X. Late-growth photosynthetic characteristics and grain yield of different wheat evolutionary materials. *Journal of Plant Ecology*, 2007, 31(1): 138-144.
- [18] Zhang S Q, Shan L, Deng X P. Changes of water use efficiency and its relation to root growth in wheat evolution. *Chinese Science Bulletin*, 2002, 47(17): 1326-1331.
- [19] Jorge D, Jan D. Under domestication genome plasticity a key factor in the success of polyploid wheat. *Science*, 2007, 316: 1862-1872.

- [20] TriPathy B C, Brown C. Root-shoot interaction in the greening of wheat seedlings grown under red light. *Plant Physiol*, 1995, 107(2): 407-411.
- [21] Guo W H, Wang R Q, Zhou S L, Zhang S P, Zhang Z G. Genetic diversity and clonal structure of *Phragmites australis* in the Yellow River delta of China. *Biochemical Systematic and Ecology*, 2003, 31(10): 1093-1109.
- [22] Zhang D Y, Jiang X H, Zhao S L, Duan S S. An ecological analysis of growth redundancy in root systems of crops under drought conditions. *Botanica Boreali-occidentalia Sinica*, 1995, 15(5): 110-114.
- [23] Hurd E A. Growth of roots of seven varieties of spring wheat at high and low moisture levels. *Agronomy Journal*, 1968, 60(2): 201-205.
- [24] Passioura J B. The integration between the physiology and the breeding of wheat. *Wheat Science-Today & Tomorrow* Cambridge: Cambridge University Press, 1981: 191-201.
- [25] Passioura J B. Roots and drought resistance. *Agricultural Water Management*, 1983, 7(1/3): 265-280.
- [26] Evans L T, Peacock W J, Donald C M. Competitive plants, communal plants, and yield in wheat crops. *Wheat Science-Today & Tomorrow*. Cambridge, Cambridge University Press, 1981: 223-247.
- [27] Xiong Y C, Li F M, Zhang T. Performance of wheat crops with different chromosome ploidy: root-sourced Signals, drought tolerance, and yield performance. *Planta*, 2006, 224(3): 710-718.
- [28] Siddique K H M, Belford R K, Tennant D. Root: shoot ratio of old and modern, tall and semidwarf wheat in a Mediterranean environment. *Plant and Soil*, 1990, 121(1): 89-98.
- [29] Yang Z S, Yan S H, Wang J J, Liang W K, Li Y B, Zhang L Z. Root Growth and Distribution of Different Types of Winter Wheat. *Journal of Triticeae Crops*, 2000, 20(1): 47-50.
- [30] Robertson B M, Waines J G, Gill B S. Genetic variability for root numbers in wild and domesticated wheat. *Crop Science*, 1979, 19(6): 843-847.
- [31] Tyslenko A M. Effect of root number on yield in spring wheat. *Byulleten Vsesoyuznogo Ordena Lenina i Ordena Druzhby Narodov, Instituta Rasteniievodstva Imeni N. I. Vavilova*, 1981, 114: 15-17.
- [32] Ismail O, Majdouline B, Adam P, Nsarehaq N, Ismail E H. Durum wheat root distribution and agronomical performance as influenced by Soil Properties. *Crop Science*, 2010, 50: 803-807.
- [33] Li J M, Zhou D X, Wang P. Principle and management techniques of efficient use of water and fertilizer for winter wheat. Beijing: China Agricultural University Press, 2000: 241-272.
- [34] Miao G Y, Pan X L, et al. A study on the development of root system in winter wheat under unirrigated conditions in semi-arid loess plateau. *Acta Agronomica Sinica*, 1989, 15(2): 104-115.
- [35] Sheng C S. The relationship between wheat morphology and yield: the design of ideal plant type. *Foreign Agronomy-Triticeae Crops*, 1987, 1: 35-39.
- [36] Evans L T, Dunstone R L. Some physiological aspects of evolution in wheat. *Australian Journal of Biological Sciences*, 1970, 23: 725-741.
- [37] Austin R B, Bingham J, Blackwell R D, Evans L T, Ford M A, Morgan C L, Taylor M. Genetic improvements in winter wheat yields since 1900 and associated physiological changes. *Agricultural Sciences*, 1980, 94: 675-689.
- [38] Yang W X. Relationship between plant type indices and yield formation in spring wheat on dryland. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2006, 24(1): 43-46.
- [39] Chen J X, Zhao X L. An Introduction of Wheat Breeding: Stable High Yield and Wide Adaptation. Beijing: Science Press, 2000: 44-56.
- [40] Wei X Z, Wu Z S. An Analysis on the Structure of Wheat Height. *Journal of Nanjing Agricultural University*, 1983, (1): 14-21.
- [41] Fu Z L. Exploring on Plant-type of Super-high-yield Genotypes in Wheat. *Journal of Yunnan Agricultural University*, 2007, 22(1): 17-22.
- [42] Feldman. The world wheat book: A history of wheat breeding. Lavoisier Publishing, Paris, France, 2001: 3-58.
- [43] Richards R A, Rawson H M, Johnson D A. Glauconess in wheat: its development, and effect on water-use efficiency, gas exchange and photosynthetic tissue temperatures. *Plant Physiol*, 1986, 13(4): 465-473.
- [44] Ludlow M M, Muchow R C. A critical evaluation of traits for improving crop yields in water-limited environments. *Adv. Advances in Agronomy*, 1990, 43: 107-153.
- [45] Xing C P, Zhang Z F. A discussion on the Stability of High-Yield Trait and Breeding Goals of Winter Wheat. *Research on Wheat*, 1999, 20(2): 29-32.
- [46] Rajaram S M. wheat breeding at CIMMYT: A global perspective. One of the CIMMYT publication, 1991: 37-39.
- [47] Austin R B, Morgan C L, Ford M A, Bhagwat S G. Flag leaf photosynthesis of *Triticum aestivum* and related diploid and tetraploid species. *Annals of Botany*, 1982, 49(2): 177-189.
- [48] Gebeyehou G, Knott D R, Baker R J. Relationships among durations of vegetative and grain filling phases, yield components, and grain yield in durum wheat cultivars. *Crop Science*, 1980, 22(2): 287-290.

- [49] Yin H Z. Collected Papers on Rice and Wheat Research. Shanghai Science and Technology Press, 1962: 40-50.
- [50] Wei A L, Wang Z M. A Study on the Contribution of Different Organs to Grain Weight in Different Genotype Wheat. *Journal of Triticeae Crops*, 2001, 21(2): 57-61.
- [51] Slafer G A, Calderini D F, Miralles D J, Drecer M F. Preanthesis shading effects on the number of grains of three bread wheat cultivars of different potential number of grains. *Field Crops Research*, 1994, 36(1): 31-39.
- [52] Araus J L, Brown H R, Febrero A. Earphoto synthesis, 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.
- [53] Dewey W G, Albrechtsen R S. Tillering relationships between spaced and densely sown populations of spring and winter wheat. *Crop Science*, 1985, 25(2): 245-249.
- [54] Pang H X, He B R. Study on Source-sink Characteristics of High Spike Weight Wheat. *Tritical Crops*, 2005, 25(3): 135-137.
- [55] Liu Y H, Jia H K, Gao Q. Review on researches of photo assimilates partitioning and its models. *Ecologica Sinica*, 2006, 26(6): 1982-1992.
- [56] Geiger D R, Koch K E, Shieh W J. Effect of environmental factors on whole plant assimilate partitioning and associated gene expression. *Experimental Botany*, 1996, 47(special issue): 1229-1238.
- [57] Taiz L, Zeiger E. *Plant Physiology* (second edition). Massachusetts: Sinauer Associates, Inc., Publishers, 1998: 252-285.
- [58] Tilman D. *Dynamics and structure of plant communities*. Princeton: Princeton University Press, 1988: 18-51.
- [59] Nielsen N K, Lynch J P, Jablonsky A G, Curtis P S. Carbon cost of root systems: an architectural approach. *Plant and Soil*, 1994, 165(1): 161-169.
- [60] Bidet L P R, Pagès L, Rivière L M, Pelloux G, Lorendeau J Y. Mass Flow Dyn I: a carbon transport and partitioning model for root system architecture. *Annals of Botany*, 2000, 85(6): 869-886.
- [61] Gallagher J N, Biscoe P V, Hunter B. Effects of drought on grain growth. *Nature*, 1976, 264: 541-542.
- [62] Jorgea C A, Fernando R, Rosa R. Effect of source to sink ratio on partitioning of dry matter and ¹⁴C a photo-assimilates in wheat during grain filling. *Annals of Botany*, 1999, 83: 655-665.
- [63] Guo T C, Wang Z J, Hu T J, Zhu Y J, Wang C Y, Wang H C, Wang Y H. Study on canopy apparent photosynthesis characteristics and grain yield traits of two winter wheat cultivars with Different Spike. *Acta Agronomica Sinica*, 2001, 27(5): 633-639.
- [64] Yue S T, Yu Z W, Yu S L. Effects of nitrogen fertilizer application on aging of winter wheat flag leaves and grain weight at different developmental stages. *Agricultural Sciences in China*, 1997, 30(2): 42-46.
- [65] Wang Z M, Zhang Y H, Zhang Y P, Wu Y C. Review on photosynthetic performance of ear organs in triticeae crops. *Acta Tritical Crops*, 2004, 24(4): 136-139.
- [66] Li C L. Effect of water stress on distribution of carbon assimilation and microstructure of ears in wheat. Master Degree thesis of Northwest A & F University, 2007: 24-26.
- [67] Peng Y X. *Wheat cultivation and physiologica*. Nanjing: Southeast University Press, 1992: 165-170.
- [68] Yang Y M. Study on the relationship between source and sink of high yield and super high yield in spring wheat. Master Degree thesis of Inner Mongolia Agriculture University, 2003: 25-27.
- [69] Mu M C, Han S L, Zhang Y Q, Yu Y, Shan Y S, Wei C Y. Theory and Practice of a New Way for Getting High-yield of Wheat-Stabilizing LAI and Controlling Plant Type and Increasing Number of Ears. *Jilin Agricultural Sciences*, 2004, 29(3): 11-15.
- [70] Guo W S, Yan L L, Feng C N, Peng Y X, Zhu X K. Study on cultural approach coordinating source and sink wheat. *Journal of Jiangsu Agricultural College*, 1995, 16(3): 33-37.
- [71] Guo W, Li B, Zhang X, Wang R. Architectural plasticity and growth responses of *Hippophae rhamnoides* and *Caragana intermedia* seedlings to simulated water stress. *Journal of Arid Environments*, 2007, 69(3): 385-399.
- [72] Weiner J. Ecology-the science of agriculture in the 21st century. *Journal of Agricultural Science*, 2003, 141: 371-377.

参考文献:

- [2] 郭天财. 小麦及其亲缘的分类. *河南农业大学学报*, 1985, 19(3): 208-230.
- [3] 吴永成, 周顺利, 张永平, 王志敏. 节水高产小麦理想全株型探讨. *干旱地区农业研究*, 2005, 2(3): 126-130.
- [9] 董琰丽, 魏茶花, 马晓娟, 张荣. 春小麦竞争能力与产量的关系. *生态学报*, 2007, 27(10): 4203-4208.
- [10] 黄明丽, 邓西平, 周生路, 赵玉宗. 二倍体、四倍体和六倍体小麦产量及水分利用效率. 2007, 27(3): 1113-1121.
- [13] 赵松岭, 李凤民, 张大勇, 段舜山. 作物生产是一个种群过程. *生态学报*, 1997, 17(1): 100-106.
- [16] 李朴芳. 干旱胁迫下不同倍体小麦株型的演化与生态适应性研究. 兰州大学硕士论文, 2010: 1-3.
- [17] 刘建辉, 孙建云, 戴廷波, 姜东. 不同小麦进化材料生育后期光合特性和产量. *植物生态学报*, 2007, 31(1): 138-144.

- [18] 张岁岐, 山仑, 邓西平. 小麦进化中水分利用效率的变化及其与根系生长的关系. 科学通报, 2002, 47(17): 1326-1331.
- [22] 张大勇, 姜新华, 赵松岭, 段舜山. 半干旱区作物根系生长冗余的生态学分析. 西北植物学报, 1995, 15(5): 110-114.
- [29] 杨兆生, 阎素红. 不同类型小麦根系生长发育及分布规律的研究. 麦类作物学报, 2000, 20(1): 47-50.
- [33] 李建民, 周殿玺, 王璞. 冬小麦水肥高效利用栽培技术原理. 北京: 中国农业大学出版社, 2000: 241-272.
- [34] 苗果园, 潘幸来, 张云亭, 尹钧, 侯跃生. 黄土高原旱地冬小麦根系生长规律的研究. 作物学报, 1989, 15(2): 104-115.
- [35] 盛承师. 小麦冠层形态结构与籽粒产量的关系 (三)理想株型的设计. 国外农学-麦类作物, 1987, 1: 35-39.
- [38] 杨文雄. 旱地小麦株型指标与产量形成的关系研究. 干旱地区农业研究, 2006, 24(1): 43-46.
- [39] 陈集贤, 赵绪兰. 高产稳产优质广适应性小麦育种基础. 北京: 科学出版社, 2000: 44-56.
- [40] 魏燮中, 吴兆苏. 小麦植株高度的结构分析. 南京农学院学报, 1983, 1: 14-21.
- [41] 傅兆麟. 小麦超高产基因型的株型结构问题. 云南农业大学学报, 2007, 22(1): 17-22.
- [45] 行翠平, 张哲夫. 冬小麦丰稳性分析及其育种目标探讨. 小麦研究, 1999, 20(2): 29-32.
- [49] 殷宏章. 稻麦群体研究论文集. 上海: 上海科学技术出版社, 1962: 40-50.
- [50] 魏爱丽, 王志敏. 小麦不同光合器官对穗粒重的作用及基因型差异研究. 麦类作物学报, 2001, 21(2): 57-61.
- [54] 庞红喜, 何蓓如. 穗重型小麦的源库特征研究. 麦类作物学报, 2005, 25(3): 135-137.
- [55] 刘颖慧, 贾海坤, 高琼. 植物同化物分配及其模型研究综述. 生态学报, 2006, 26(6): 1982-1992.
- [63] 郭天财, 王之杰, 胡廷积, 朱云集, 王晨阳, 王化岑, 王永华. 不同穗型小麦品种群体光合特性及产量性状的研究. 作物学报, 2001, 27(5): 633-639.
- [64] 岳寿松, 于振文, 余松烈. 不同生育时期施氮对冬小麦旗叶衰老和粒重的影响. 中国农业科学, 1997, 30(2): 42-46.
- [65] 王志敏, 张英华, 张永平, 吴永成. 麦类作物穗器官的光合性能研究进展. 麦类作物学报, 2004, 24(4): 136-139.
- [66] 李成龙. 水分胁迫对小麦碳同化物分配及穗部显微结构的影响. 西北农林科技大学硕士论文, 2007: 24-26.
- [67] 彭永欣. 小麦栽培与生理. 南京: 东南大学出版社, 1992: 165-170.
- [68] 杨永梅. 春小麦高产超高产源库关系及其机理的研究. 内蒙古农业大学硕士论文, 2003: 25-27.
- [69] 慕美财, 韩守良, 张曰秋, 于岩, 单玉珊, 魏春叶. 小麦稳叶控株增穗高产新途径的理论与实践. 吉林农业科学, 2004, 29(3): 11-15.
- [70] 郭文善, 严六零, 封超年, 彭永欣, 朱新开. 小麦源库协调栽培途径的研究. 江苏农学院学报, 1995, 16(3): 33-37.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 31, No. 9 May, 2011 (Semimonthly)

CONTENTS

Guest Editorial from EAM Workshop—Sustainability of agricultural ecosystems in arid regions in response to climate change	
..... LI Fengmin, Kadambot H. M Siddique, Neil C Turner, et al (I)	
Overview on the 2 nd international workshop on ecosystem assessment and management (EAM)	
..... LI Pufang, ZHAO Xuzhe, CHENG Zhengguo, et al (2349)	
Arid agricultural ecology in response to global change: Overview on Young Scholar Forum of the 2 nd International Workshop on	
EAM	ZHAO Xuzhe, LI Pufang, Kadambot H. M Siddique, et al (2356)
The effects of micro-rainwater harvesting pattern and rainfall variability on water ecological stoichiometry in oat (<i>Avena sativa</i> L.)	
field	QIANG Shengcai, ZHANG Hengjia, MO Fei, et al (2365)
Spatial variation of water requirement for spring wheat in the middle reaches of Heihe River basin	
..... WANG Yao, ZHAO Chuanyan, TIAN Fengxia, et al (2374)	
Model-based estimation of the canopy transpiration of Qinghai spruce (<i>Picea crassifolia</i>) forest in the Qilian Mountains	
..... TIAN Fengxia, ZHAO Chuanyan, FENG Zhaodong (2383)	
Litter amount and its nutrient storage and water holding characteristics under different coniferous forest types in Xiaolong Mountain,	
Gansu Province	CHANG Yajun, CHEN Qi, CAO Jing, et al (2392)
Effect of irrigation frequency on life history strategy and yield formation in Jerusalem artichoke (<i>Helianthus tuberosus</i> L.) in oasis	
of Hexi Corridor	ZHANG Hengjia, HUANG Gaobao, YANG Bin (2401)
The evaluation method of water resources sustainable utilization in Manas River Basin	
..... YANG Guang, HE Xinlin, LI Junfeng, et al (2407)	
Correlation of topographic factors with precipitation and surface temperature in arid and cold region of Northwest China: a case	
study in Gansu Province	YANG Sen, SUN Guojun, HE Wenying, et al (2414)
The relationship between riparian vegetation and environmental factors in Heihe River Basin	
..... XU Shasha, SUN Guojun, LIU Huiming, et al (2421)	
Effects of drought stress on the photosynthesis of <i>Salix paraqulesia</i> and <i>Hippophae rhamnoides</i> seedlings	
..... CAI Haixia, WU Fuzhong, YANG Wanqin (2430)	
The comparison of drought resistance between <i>Caragana species</i> (<i>Caragana arborescens</i> , <i>C. korshinskii</i> , <i>C. microphylla</i>) and two	
chickpea (<i>Cicer arietinum</i> L.) cultivars	FANG Xiangwen, LI Fengmin, ZHANG Haina, et al (2437)
Response of chlorophyll fluorescence characteristics of <i>Populus euphratica</i> heteromorphic Leaves to high temperature	
..... WANG Haizhen, HAN Lu, XU Yali, et al (2444)	
Free amino acid content in different tissues of <i>Caragana korshinskii</i> following all shoot removal	
..... ZHANG Haina, FANG Xiangwen, JIANG Zhirong, et al (2454)	
“Fertile Island” features of soil available nutrients around <i>Halostachys caspica</i> shrub in the alluvial fan area of Manas River watershed	
..... TU Jinna, XIONG Youcai, ZHANG Xia, et al (2461)	
Analysis of the activities of protective enzymes in <i>Bidens pilosa</i> L. inoculated with <i>Glomus mosseae</i> under drought stress	
..... SONG Huixing, ZHONG Zhangcheng, YANG Wanqin, et al (2471)	
Evaluation and selection on drought-resistance of germplasm resources of <i>Avena</i> species with different types of ploidy	
..... PENG Yuanying, YAN Honghai, GUO Laichun, et al (2478)	
Ecophysiological mechanism of photoperiod affecting phenological period and spike differentiation in oat (<i>Avena nuda</i> L.)	
..... ZHAO Baoping, ZHANG Na, REN Changzhong, et al (2492)	
Effects of water and fertilization on relationship between competitive ability and seed yield of modern and old spring wheat varieties	
..... DU Jingqi, WEI Panpan, YUAN Ziqiang, et al (2501)	

- Inhibitory effect of biogas slurry from swine farm on some vegetable pathogen SHANG Bin, CHEN Yongxing, TAO Xiuping, et al (2509)
- Effects of different summer catch crops planting on soil inorganic N residue and leaching in greenhouse vegetable cropping system WANG Zhiyi, GUO Ruiying, LI Fengmin (2516)
- Photosynthetic characterization and yield of summer corn (*Zea mays* L.) during grain filling stage under different planting pattern and population densities WEI Li, XIONG Youcai, Baoluo Ma, et al (2524)
- Effects of desulfurization waste treatment on calcium distribution and calcium ATPase activity in oil-sunflower seedlings under alkaline stress MAO Guilian, XU Xing, ZHENG Guoqi, et al (2532)
- The evolution between ecological security pattern and agricultural productive force in Manas River Basin for the past 30 years WANG Yuejian, XU Hailiang, WANG Cheng, et al (2539)
- Spatio-temporal analysis of ecological carrying capacity in Jinghe Watershed based on Remote Sensing and Transfer Matrix YUE Dongxia, DU Jun, LIU Junyan, et al (2550)
- The coupling relationship and emergy analysis of farming and grazing ecosystems in Mu Us sandland HU Binghui, LIAO Yuncheng (2559)
- Dynamic analysis of farmland ecosystem service value and multiple regression analysis of the influence factors in Minqin Oasis YUE Dongxia, DU Jun, GONG Jie, et al (2567)
- Environment purification service value of urban green space ecosystem in Qingdao City ZHANG Xuliang, XU Zongjun, ZHANG Zhaohui, et al (2576)
- The spatial relationship analysis of rural per capital revenue based on GIS in Zulihe River basin, Gansu Province XU Baoquan, SHI Weiqun (2585)

Review and Monograph

- The key issues on plant phenology under global change MO Fei, ZHAO Hong, WANG Jianyong, et al (2593)
- Recent advances on regional climate change by statistical downscaling methods ZHU Hongwei, YANG Sen, ZHAO Xuzhe, et al (2602)
- Current progress in eco-physiology of root-sourced chemical signal in plant under drought stress LI Jinan, LI Pufang, KONG Haiyan, et al (2610)
- ODAP biosynthesis: recent developments and its response to plant stress in grass pea (*Lathyrus sativus* L.) ZHANG Dawei, XING Gengmei, XIONG Youcai, et al (2621)
- Current progress in plant ideotype research of dryland wheat (*Triticum aestivum* L.) LI Pufang, CHENG Zhengguo, ZHAO Hong, et al (2631)
- Recent advances in research on drought-induced proteins and the related genes in wheat (*Triticum aestivum* L.) ZHANG Xiaofeng, KONG Haiyan, LI Pufang, et al (2641)

2009 年度生物学科总被引频次和影响因子前 10 名期刊★

(源于 2010 年版 CSTPCD 数据库)

排序 Order	期刊 Journal	总被引频次 Total citation	排序 Order	期刊 Journal	影响因子 Impact factor
1	生态学报	11764	1	生态学报	1.812
2	应用生态学报	9430	2	植物生态学报	1.771
3	植物生态学报	4384	3	应用生态学报	1.733
4	西北植物学报	4177	4	生物多样性	1.553
5	生态学杂志	4048	5	生态学杂志	1.396
6	植物生理学通讯	3362	6	西北植物学报	0.986
7	JOURNAL OF INTEGRATIVE PLANT BIOLOGY	3327	7	兽类学报	0.894
8	MOLECULAR PLANT	1788	8	CELL RESEARCH	0.873
9	水生生物学报	1773	9	植物学报	0.841
10	遗传学报	1667	10	植物研究	0.809

★《生态学报》2009 年在核心版的 1964 种科技期刊排序中总被引频次 11764 次,全国排名第 1;影响因子 1.812,全国排名第 14;第 1—9 届连续 9 年入围中国百种杰出学术期刊;中国精品科技期刊

编辑部主任 孔红梅

执行编辑 刘天星 段 靖

客座编辑 Guest Editors LI Fengmin XIONG Youcai Neil Turner Kadambot Siddique

生 态 学 报

(SHENGTAI XUEBAO)

(半月刊 1981 年 3 月创刊)

第 31 卷 第 9 期 (2011 年 5 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 31 No. 9 2011

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	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
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 70.00 元