

# 大豆品种竞争能力和籽粒产量关系研究

杨慎骄<sup>1,3</sup> 徐炳成<sup>1</sup> 马守臣<sup>4</sup> 李凤民<sup>1,2</sup>

(1. 中国科学院教育部水土保持与生态环境研究中心, 陕西 杨凌 712100;

2. 兰州大学 生命学院干旱与草地生态教育部重点实验室, 兰州 730000;

3. 中国科学院 研究生院, 北京 100049;

4. 河南理工大学 测绘与国土信息工程学院, 河南 焦作 454000)

**摘要:** 盆栽试验方法研究充分供水(W)、适度干旱(M)和严重干旱(D)三种条件下,不同株型的两个大豆品种晋大74和晋豆24在混播和单播时的籽粒产量及生物量构成。结果表明:晋大74品种具有较高的植株生物量和较强竞争能力,在单播时籽粒产量较低,而竞争能力较低的晋豆24品种在单播时籽粒产量却较高,这一结论将对大豆株型设计提供一定的科学依据。

**关键词:** 大豆; 收获指数; 竞争能力; 生长冗余; 理想株型

## Comparison of Competition Ability and Grain Yield of Two Soybean (Glycine Max) Varieties

YANG Shenjiao<sup>1,3</sup>, XU Bingcheng<sup>1</sup>, MA Shouchen<sup>4</sup>, LI Fengmin<sup>1,2</sup>

(1. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Education, Yangling Shaanxi 712100, China;

2. Key Laboratory of Arid and Grassland Ecology, Ministry of Education, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China;

3. Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;

4. School of Surveying and Information Engineering, Henan Polytechnic University, Jiaozuo Henan 454000, China)

**Abstract:** Pot experiment is conducted on two soybean varieties Jinda74 and Jin24. Grain yield and biomass components of the two cultivars either in monoculture or mixture are investigated under three water levels: wet (85% of the field water capacity, 85% FWC), mild drought (60% FWC) and drought drought (40% FWC). The result indicates that relatively big size of plant shoot biomass and root system of Jinda74 is advantage for its competition ability but not the monoculture grain yield, while Jin24 weaker in competition ability exhibits higher monoculture seed yield which indicates its advantage for population yield. The conclusion provides an aspect of individual competition ability to the research of soybean ideotype.

**Key words:** soybean; harvest index; competition ability; growth redundancy; ideotype

作物个体间对共同资源(水、肥、光等)的竞争是永远存在的,自然选择保留并不断强化高竞争能力特性<sup>[1~2]</sup>。可用资源一定,生物个体对某一功能投入增加必然影响其他功能的发展<sup>[2]</sup>,因此,作物高竞争力与单位面积高产量目标不相容。Donald提出具有弱竞争力品种的群体产量表现最优<sup>[1]</sup>,这一观点在近年来的试验结果得到较好的体现<sup>[3]</sup>。张大勇进一步论证“弱竞争者”减小“生长冗余”<sup>[4]</sup>,明确植物削减竞争能力可以增加产量的机制<sup>[5]</sup>。赵明等从作物超补偿角度提出超高产理想群体的实现应去除个体的生长冗余部分,通过抑制个体功能的生长冗余实现群体性能最优化<sup>[6]</sup>。这表明,作物高产理想群体与作物植株个体竞争能力关系密切。

近百年来,大豆的平均单产不断提高,其主要贡献来

自于遗传改良<sup>[7]</sup>。理想株型育种是进一步拓展产量潜力的重要途径<sup>[8]</sup>。基于现有品种研究性状间的相关关系来探讨植株形态及群体生理构成,我国学者对不同产区的环境和生产条件提出了不同的大豆“高产理想型”<sup>[8]</sup>。这些理想株型在形态上不一,从植株高大的稀植型到中矮秆的密植型均有表现,可能具有不同的个体竞争能力。在大豆作物上,高产株型及理想群体研究处于探索阶段,关于其品种竞争能力的研究目前鲜见报道。

本研究通过比较单播与混播时株型不同的两大豆品种在不同水分条件下的生物量结构及籽粒产量,分析品种个体竞争能力,试图:(1)探讨大豆籽粒产量与产量形成因子的关系;(2)探讨大豆品种竞争力与籽粒产量的关系。以期为大豆理想株型设计提供一定的科学依据。

**基金项目:** 国家自然科学基金(30625025); 国家重点基础研究发展规划(“973”)(2009CB118604); 中国科学院“百人计划”择优支持项目(C24016200)

**通讯作者:** 李凤民 fml@lzu.edu.cn

## 1 材料与方法

### 1.1 试验条件

试验于2008年5~9月在长武农业生态试验站遮雨棚下进行。台站地处黄土高原中南部, 35° 12' 30" N, 107° 40' 30" E, 海拔1 200m, 属暖温带半湿润易旱季风气候区, 年均降水584mm, 年均气温9.1℃, 大于10℃的积温为3 029℃, 无霜期171天。试验用土取自试验站附近农田表土, 该地区土壤为黑垆土, 最大田间持水量为23%。土壤有机质含量11.8g·kg<sup>-1</sup>, 有效磷14.4mg·kg<sup>-1</sup>, 全氮0.87g·kg<sup>-1</sup>, 无机氮3.15mg·kg<sup>-1</sup>; 晾晒后, 过5cm筛, 翻拌混匀, 用25cm×28cm塑料桶盛土。每桶装干土10kg, 施入2.5gKH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>, 通过PVC管向桶底加水, 采用称重法控制桶中土壤水分状况, 土表覆盖珍珠岩以减少土表的水分蒸发。

### 1.2 材料与处理

供试大豆品种为晋豆24 (Jin24, 品种j) 和晋大74 (Jinda74, 品种i), 为山西农业大学20世纪90年代选育品种, 当前在黄土高原中部半干旱地区推广种植。生育期相近, 为125~130天 (4月下旬~9月上中旬)。Jin24株高70cm, 少分枝, 扁长叶型; Jinda74株高80cm, 多分枝且集中在中部, 叶子呈圆形。

试验用单播和混播两种播种方式, 混播播种比例为1:1。设置3个水分水平: 充分供水 (W) 的土壤水分含量为田间持水量 (field capacity, FC) 的85%; 适度干旱 (M) 的土壤水分水平为60%FC; 严重干旱 (D) 的土壤含水量为40%FC。试验采用完全试验设计, 5次重复, 共45桶。催芽后播种, 穴播3~5cm深, 每穴2粒, 每桶6穴。5月1日播种, 7日禾苗出土 (VE期), 出苗后22天长至3片三出复叶 (V4期), 间苗每盆留4株。出苗后25天 (V4期) 开始水分控制。出苗后54天 (6月30日, V9期) 进一步间苗每盆留2株。

### 1.3 测定指标与方法

称重法控制土壤水分含量: 每日18时称量, 灌水至各处理水分控制水平, 记录浇灌水量。每次称重灌水时, 调整桶的摆放位置以平衡边缘效应的影响。

收获与考种: 成熟时, 在植株子叶节处将地上部分剪下, 测量主茎的长度为株高, 将茎秆、荚皮和籽粒分装, 105℃下杀青1h, 然后80℃下烘至恒重。冲洗根系上泥土, 对混播处理进一步仔细分开两个品种的根系, 然后装入400目尼龙网袋将根系清洗干净, 再人工将根与其他有机、无机杂质分离; 烘干称重。

水分利用效率 (WUE) = 籽粒产量 / 生育期耗水量。其中, 籽粒产量为每桶收获的全部有效籽粒干物质, 混播处理中两个品种籽粒产量相加。

收获指数 (HI) = 籽粒产量 / 收获时地上部分生物量 = 籽粒产量 / (茎秆生物量 + 荚皮生物量 + 籽粒产量)。

混播相对产量 (RY) 和总相对产量 (RYT) [3]:  $RY_{ij} = Y_{ij} / (Y_i + Y_j)$ ,  $RYT = YR_{ij} + YR_{ji}$ ; 式中,  $Y_{ij}$  为品种  $i$ 、 $j$  混播时品种  $i$  的籽粒产量,  $Y_i$  为  $i$  品种单播时的籽粒产量。

竞争比率 (CR)、侵占系数 (A)、相对竞争严重程度 (RSC) 和相对竞争强度 (RCI) 为竞争能力相关指标 [3]:

$CR_{ij} = (Y_{ij}/Y_i) / (Y_{ji}/Y_j)$ ;  $A_{ij} = Y_{ij}/Y_i - Y_{ji}/Y_j$ ;  $RSC_{ij} = \lg(Y_i/Y_{ij})$ ;  $RCI = (Y_i - Y_{ij})/Y_i$ , 其中,  $Y_i$ 、 $Y_j$ 、 $Y_{ij}$  和  $Y_{ji}$  同上。

### 1.4 数据处理方法

方差分析采用 SAS 系统 (SAS Inc, Cary, NC, USA), 平均数在一定检验水平上进行多重比较,  $n=5$ 。分析前先检验所比较的数据组方差齐性 (F-检验) ( $p=0.05$ )。

## 2 结果与分析

### 2.1 株高及植株茎秆和根系生物量

两个品种在单播和混播情况下的株高、茎秆生物量和根系生物量均随土壤水分下降而降低, W和M条件下, 两播种方式 Jinda74 的株高 (图1A)、茎秆生物量 (图1B) 和根系生物量 (图1C) 均显著高于 Jin24 ( $p<0.05$ )。D条件下, Jinda74 单播的株高和茎秆生物量显著大于 Jin24 ( $p<0.05$ ) (图1A, B), 但其根系生物量小于 Jin24 ( $p>0.05$ ) (图1C); 混播时, Jinda74 的株高及植株生物量均高于 Jin24, 但差异不显著 ( $p>0.05$ )。

### 2.2 籽粒产量与收获系数

单播情况下, 两大豆品种的籽粒产量随土壤水分的降低而减小, 品种 Jinda74 降低更严重 (表1)。充分供水 (W) 条件下, Jinda74 的籽粒产量略高于 Jin24, 但差异未达显著水平 ( $p>0.05$ ), M和D条件下, 其籽粒产量均显著低于 Jin24 ( $p<0.05$ )。两个品种的收获指数随不同土壤水分的变化不大, 并且 Jin24 的收获指数显著高于 Jinda74 ( $p<0.05$ ) (表1)。

混播情况下, 两大豆品种的籽粒产量也均随着土壤水分含量的降低而减小 (表1); 与单播时的情况相反, Jinda74 的籽粒产量显著高于 Jin24 ( $p<0.05$ )。混播 Jinda74 的单株籽粒产量高于其在单播时的产量, 而 Jin24 的籽粒产量显著低于其单播时的水平, 表明与 Jinda74 混播时 Jin24 的产量受到抑制。混播情况下, 随土壤水分降低, 两个品种的收获指数均明显降低, 并且 Jinda74 收获指数 (0.53~0.46) 的降低幅度较 Jin24 (0.52~0.48) 大。

### 2.3 相对产量与竞争能力

Jinda74 的相对产量在 M 水平时最高, D 水平时最低; 土壤水分降低, Jin24 的相对产量下降 (图2)。Jinda74 的相对产量在 W 和 M 条件下均高于 1; 三种水分条件下, Jin24 的相对产量及总相对产量的相对产量均小于 1, 且 jinda74 的相对产量均高于 Jin24。这说明混播情况下两个品种出现异速生

表1 不同水分条件下两个品种单播和混播时的籽粒产量和收获指数比较

播种方式	品种	籽粒产量 g/株			收获指数		
		高水 (W)	中水 (M)	低水 (D)	高水 (W)	中水 (M)	低水 (D)
单播	Jinda74	19.17 b	9.97 b	6.49 b	0.51 b	0.50 b	0.50 b
	Jin24	18.60 b	11.66 a	7.08 a	0.53 a	0.54 a	0.52 a
混播	Jinda74	20.71 a	11.98 a	6.23 b	0.53 a	0.51 b	0.46 d
	Jin24	16.45 c	8.32 c	5.20 c	0.52 ab	0.51 b	0.48 c

注: 同一列数字后的字母不相同表示显著差异,  $p=0.05$ 。

长, 表明它们对资源的利用属不存在互补作用的竞争型, 土壤水分条件不影响其竞争结果。

Jinda74与Jin24的竞争比率 (CR)、侵占系数 (A)、相对竞争严重度 (RSC) 及相对竞争强度 (CRI) 的比较 (表2) 表明, 品种Jinda74在3种水分条件下均有较高的竞争比率和侵占系数, 相对竞争严重度和相对竞争强度较低, M条件下两个品种竞争能力指数差异最大。说明在两个品种混播时Jinda74有相对较强的竞争能力, 而Jin24有较高的相对竞争严重度。这表明, 在本试验的水分条件下, Jinda74能消耗水资源用于自身的生产, 而Jin24品种则受到较为严重的胁迫。因此, 与Jinda74混播时, Jin24的生长受到严重抑制; M条件下, 品种间竞争最严重。

### 2.4 耗水量与水分利用效率

两品种单播及混播条件下的生育期内耗水量均随土壤水分的降低而减少 ( $p<0.05$ ) (表3)。W水分水平下, 单播Jinda74的耗水量与混播处理接近, 显著高于单播Jin24; M和D水平下, 不同播种方式处理间差异不显著 ( $p>0.05$ )。

土壤水分降低, 单播Jinda74的水分利用效率 (WUE) 减小 ( $p>0.05$ ) (表3); 土壤干旱 (M和D) 提高单播Jin24的WUE, 在M时最高, 并显著高于W对照 ( $p<0.05$ ); 混播处理的WUE在不同水分水平间差异不显著 ( $p>0.05$ )。M和D水平时, 单播Jin24的WUE均显著高于单播Jinda74和混播处理的WUE ( $p<0.05$ ); W水平时, 播种处理间差异的WUE不显著 ( $p>0.05$ )。

## 3 讨论

### 3.1 生物量组成与收获指数

籽粒产量是由干物质生产的绝对量和在干物质生产量中籽粒所占的比率 (收获指数) 共同决定的。在大豆遗传改良过程中产量提高的主要途径目前还没有形成一致的意见。有研究认为新品种产量的提高很大程度上可归因于生物量累积的增加<sup>[9]</sup>; 但也有研究发现选育较迟的品种总干重并不一定高于选育较早的老品种<sup>[10]</sup>, 可能收获指数的提高对产量提高的贡献更大<sup>[10~11]</sup>。本研究对黄土高原中部半干旱地区推广种植的两个大豆品种的盆栽试验结果认为, 相对于Jinda74而言, 品种Jin24的生物量较小 (图1), 而收获指数高 (表1), 其最终籽粒产量也较高 (表1)。具有较高收获指数的品种补偿

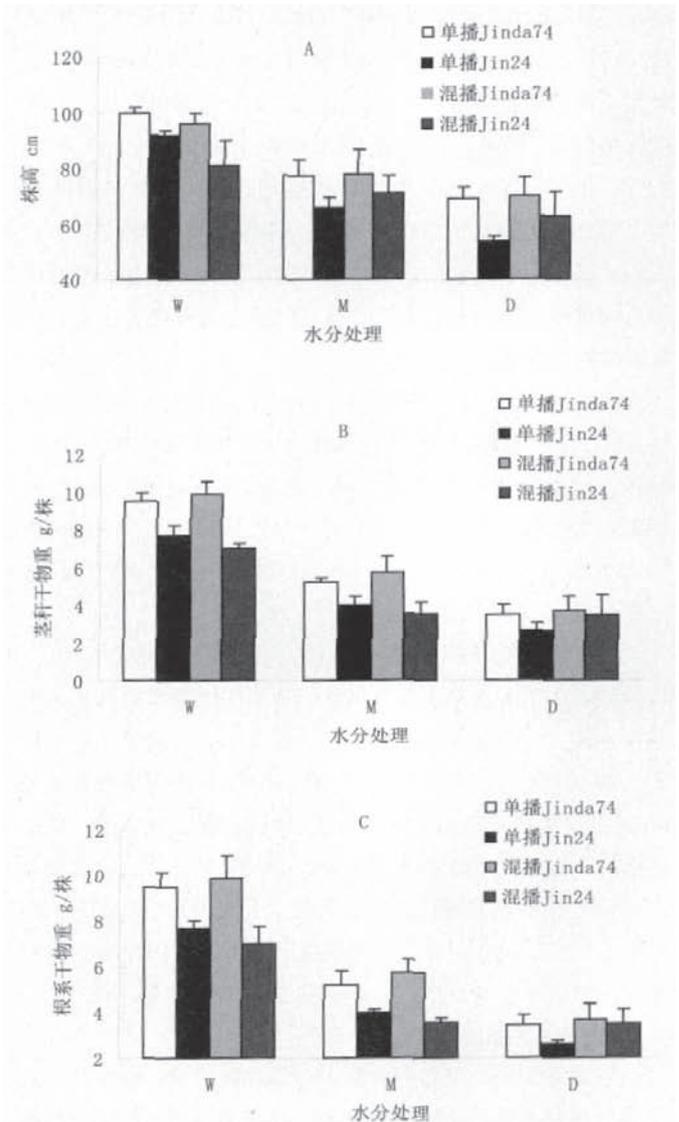


图1 不同水分条件下Jinda74和 Jin24混播及分别单播时的株高、茎秆生物量和根系生物量

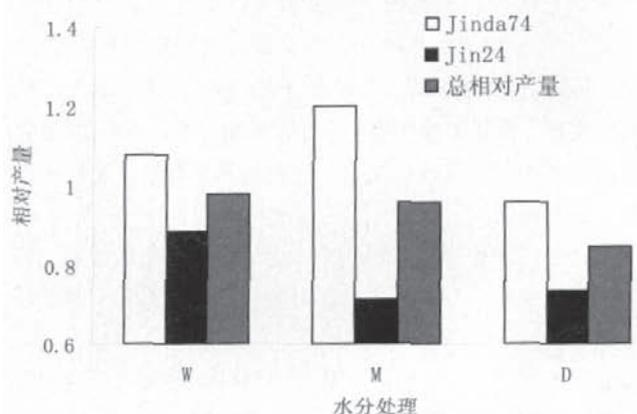


图2 不同土壤水分条件两个品种的相对产量和总相对产量

表2 Jinda74和Jin24的竞争比率 (CR)、侵占系数 (A)、相对竞争严重度 (RSC) 和相对竞争强度 (RCI)

水分处理	竞争能力指数							
	$CR_{ij}$	$CR_{ji}$	$A_{ij}$	$A_{ji}$	$RSC_{ij}$	$RSC_{ji}$	$RCI_{ij}$	$RCI_{ji}$
高水 (W)	1.221	0.819	0.196	-0.196	-0.034	0.053	-0.080	0.115
中水 (M)	1.682	0.594	0.487	-0.487	-0.080	0.146	-0.201	0.286
低水 (D)	1.278	0.783	0.209	-0.209	0.0176	0.124	0.0397	0.248
平均	1.394	0.732	0.297	-0.297	-0.032	0.108	-0.081	0.217

注: 数字*i*和*j*分别表示大豆品种Jinda74和Jin24。

了其较低的生物量对籽粒产量的影响, 从而获得了较高的籽粒产量, 这一结果与Cui等认为中国大豆遗传改良中HI的贡献较大的观点<sup>[11]</sup>是一致的。

### 3.2 竞争能力与籽粒产量

竞争能力是指变化环境条件下物种个体对共享资源的利用能力, 由植株个体总生物量 (包括地上、地下生物量)、株高及叶面积等性状决定。单一生物种群中个体竞争能力为自然选择所强化<sup>[3]</sup>。然而, 作物生产是一个种群过程, 其目标是提高单位面积上的产量而并不在于个体生产力的高低<sup>[2]</sup>。作物经长期自然演化的个体竞争能力可能与农业生产目标相悖。Donald的弱竞争力品种群体产量表现最优观点在近年来对半干旱区不同年代小麦品种的竞争力和产量关系研究中得到很好的表现: 老品种 (或者地方品种) 的竞争能力高于其替代品种, 但最终籽粒产量较低<sup>[3]</sup>。本研究中, 相对于Jin24而言, Jinda74在不同水分条件下形成较大植株体 (株高、根系生物量及茎秆生物量) (图1), 具有较高的竞争比率和侵占系数 (表2), 因而在混播时具有较高的籽粒产量, 但在单播时籽粒产量却较低 (表1)。这说明了大豆品种弱竞争能力同样有利于群体籽粒产量的提高。

植株个体强竞争能力依赖于庞大的营养体 (主要是根、茎、叶) 以更多地获取水、肥、光资源。在总生产力一定的情况下, 将光合产物向营养生长投入增加必然会导致对生殖生长投入的减少<sup>[4]</sup>。本研究中, 竞争能力强的Jinda74虽有较庞大的植株个体 (图1), 但收获系数指数较低, 形成籽粒产量也较低 (表1)。强竞争型个体把更多的资源浪费在提高竞争能力而不是籽粒产量上<sup>[2]</sup>, 生物有机体中的这种对目标产量输出构成影响的各种水平上的过多或过于庞大的部分相对群体生产来说是一种冗余<sup>[5]</sup>。昆虫取食大豆叶片反而使其在籽粒产量上得到超量补偿, 这从另一个方向表明大豆作物上营养体冗余的存在。基于此, Jinda74较大的植株营养体可能存在一定程度的冗余。

### 3.3 大豆高产育种理想株型和理想群体

在大豆产量水平达到一定程度后, 理想株型育种和构建高产理想群体是进一步提高其产量的重要途径<sup>[8]</sup>。虽然, 我国学者基于大豆植株形态及群体生理构成提出了不同的大豆“高产

表3 不同水分条件下Jinda74和 Jin24混播及分别单播的耗水量和水分利用效率

播种处理	耗水量 (kg/pot)			水分利用效率		
				Water use efficiency (g/kg)		
	高水 (W)	中水 (M)	低水 (D)	高水 (W)	中水 (M)	低水 (D)
单播Jinda74	46.9 a	25.1 b	16.5 c	0.82 c	0.79 c	0.79 c
单播Jin24	44.8 b	24.8 b	15.7 c	0.83 c	0.94 a	0.88 b
混播	47.2 a	24.9 b	15.2 c	0.79 c	0.82 c	0.78 c

注: 同一列数字后的字母不相同表示播种处理间耗水量或者水分利用效率差异显著,  $p=0.05$ 。

理想型”<sup>[8]</sup>, 但在这方面研究仍处于探索阶段。而关于作物群体的研究表明, 作物系统结构与功能间的不合理和不协调往往造成生物能的额外消耗, 以致限制了经济产量<sup>[6]</sup>。因此, 挖掘大豆群体产量潜力, 可以通过: (1) 优化个体结构, 去除植株个体的生长冗余部分, 释放更多的资源和能量投向目标器官—豆类; (2) 优化群体性能, 突出发挥系统关键因子, 如增加作物群体数量, 使作物将生长冗余转移到目的器官。

### 参考文献:

- [1] Donald C M. The breeding of crop ideotype [J]. Euphytica, 1968, 17: 385-403.
- [2] 张大勇, 姜新华. 对于作物生产的生态学思考[J]. 植物生态学报, 2000, 24 (3): 383~384.
- [3] 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[J]. 植物生态学报, 1999, 23: 202~210.
- [4] Zhang D Y, Sun G J, Jiang X H. Donald's ideotype and growth redundancy: a game theoretical analysis [J]. Field Crops Res, 1999, 61: 179-187.
- [5] 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[J]. 西北植物学报, 2003, 23 (5): 844~851.
- [6] 赵明, 李建国, 张宾, 等. 论作物高产挖潜的补偿机制[J]. 作物学报, 2006, 32 (10): 1566~1573.
- [7] 崔章林, 盖钧镒, Carter T E, 等. 中国大豆育成品种及其系谱分析 (1923~1995) [M]. 北京: 中国农业出版社, 1998.
- [8] 董钻. 大豆栽培生理[M]. 北京: 农业出版社, 1997.
- [9] Kumudini S, Hume D J, Chu G. Genetic improvement in short-season soybeans: I Dry matter accumulation, partitioning, and leaf area duration [J]. Crop Science, 2001, 41: 391-398.
- [10] Morrison M J, Voldeng H D, Cober E R. Physiological changes from 58 years of genetic improvement of short-season soybean cultivars in Canada [J]. Agronomy Journal, 1999, 91: 685-689.
- [11] Cui S Y, Yu D Y. Estimates of relative contribution of biomass, harvest index and yield components to soybean yield improvements in China [J]. Plant Breeding, 2005, 124(5): 473-476.