

# 行距对大豆竞争有限资源的影响<sup>\*</sup>

刘晓冰<sup>1,2</sup> 金 剑<sup>1</sup> 王光华<sup>1</sup> S. J. Herbert<sup>2</sup> M. Hashemi<sup>2</sup>

(1. 中国科学院东北地理与农业生态研究所, 哈尔滨 150040;

2. 美国麻省大学植物与土壤科学系, 阿姆斯特市, 美国 01003)

**摘要** 不同行距引起大豆生长竞争。当某一因子的直接供应不能满足群体生长的需要而成为限制因子时, 竞争便开始。本文主要从基因型、光、水、养分和杂草等 5 方面综述过去 40 年行距变化对大豆竞争资源的影响。研究表明, 不同品种对行距变化的反映不同, 其依赖于季节降雨和灌溉。有限结荚习性类型可获得较高产量, 抗倒伏的大豆品种适于窄行种植。无限结荚习性大豆在一定的行距条件下也可获得最佳产量。与宽行大豆种植相比, 窄行大豆栽培增加光截获(LI), 其原因在于 LAI、消光系数的增加及分枝类型品种的选择。水分利用效率和蒸发蒸腾作用不受行距影响, 但在灌溉条件下产量增加。行距变化对养分吸收影响较大, 随着行距的减小, 植株产量和 N、P、K 的吸收均增加, 且增加幅度受施肥水平制约。行距不影响 N 素的固定。行距不影响杂草密度、萌发高峰及持续时期, 但在窄行栽培条件下可减少杂草的数量及干重, 再配以适量的除草剂可获得良好的除草效果。不同行距条件下的大豆生理反应、养分和水分的吸收及转运, 不同冠层的光能利用以及土壤环境的变化仍需进一步深入研究。

**关键词** 行距; 光截获; 水分吸收; 养分吸收; 杂草控制; 大豆

**中图分类号** S 565.1 **文献标识码** A **文章编号** 1000—9841(2004)03—0215—07

行作栽培作为现代多种农作物栽培的基本技术措施, 最早由 Jethro Tull 于 1731 年引入英国<sup>[1]</sup>。Tull 认为细小的土壤颗粒是在植物根系的作用下形成的, 行作栽培加速了这一进程。过去一致认为行作对栽培最大的贡献是它有利于除草。那时为了便于农作, 行距不得不保证一定的宽度来使马拉锄通过。近半个世纪的研究表明: 许多作物实施窄行栽培增产, 但由于机械除草的需要而限制了窄行栽培的应用<sup>[2,3]</sup>。虽然行距变化并未明显影响株高、分枝数及单株产量, 但窄行栽培的净回报率明显高于宽行栽培。

群体发育导致个体间的竞争。Milthorpe 提出当单株间彼此接近到以至于引起对土壤和空气环境的改变, 且植株生长速率受到抑制时, 竞争开始<sup>[4]</sup>。当某一因子不能满足群体生长的最低需要而成为限制因子时, 个体间竞争出现。主要的竞争因子包括光、水、养分及杂草<sup>[5]</sup>。作物层和大气间的气体交

换也受到冠层结构变化的影响<sup>[6]</sup>。Donald 提出如果水和养分供应充足(两者不是限制因子), 光则是唯一的限制因子<sup>[5]</sup>。过去的 40 年, 有关行距栽培与作物(尤其是大豆)产量的关系报道较多, 但却没有进行系统的归纳和总结。本文试图对大豆不同行距种植及其对有限资源竞争的关系给予综述。

## 1 个体间竞争

个体生长不良导致对地面覆盖程度差, 从而影响光截获, 最终导致低产<sup>[7]</sup>。品种不同对环境的适应性不同, 适应性强的品种对环境和生长限制因子有较强的适应能力。由于不同品种的生长类型不同, 所采用的行距不同<sup>[8]</sup>。早熟品种长势弱, 适于窄行种植<sup>[9]</sup>, 晚熟品种宽行种植则有利于产量潜力的发挥<sup>[10]</sup>。Hicks 等发现 Harosoy 和 Clark 大豆的 4 种株型(矮有限型、高有限型、窄叶型和正常叶型)

\* 收稿日期: 2004—01—09

基金项目: 中国科学院知识创新项目(KZCX1—SW—19)

作者简介: 刘晓冰(1963—), 男, 博士, 研究员, 主要从事作物生理生态研究。

与行距和密度关系都不大<sup>[11]</sup>。有限结荚习性大豆(DET)和无限结荚习性大豆(IND)对行距的反应不同<sup>[12,13]</sup>。Ibrahim分别选取有限和无限型大豆品种进行试验结果发现,窄行种植有限型大豆产量最高,但如果盛花期群体叶片相互重叠,则产量不表现增加趋势<sup>[14]</sup>。Bowers等也发现有限型大豆在50 cm或小于50 cm行距下的产量比75—100 cm行距的产量高<sup>[15]</sup>。对于美国中南部的早熟大豆生产种植体系而言,必须利用窄行(40 cm)来优化产量,因为该区少雨,且多半种植无限型大豆。也有研究表明,晚熟大豆在行距小于60 cm时不表现增产优势,且窄行种植有限和无限型均没有表现增产<sup>[16~18]</sup>。Hugie和Orf选用276个有限和无限型大豆品种,熟期属0和I成熟组,连续2年在2个不同地点试验,结果发现,有限和无限型大豆在25 cm和76 cm行距种植产量相近。但如果生殖生长期水分供应充足,窄行或双行种植模式产量高。有限型大豆在沟灌条件下双行种植的产量比无限型大豆高。在降雨量高于平均水平但季节分布不均匀的年份,无论是宽、窄行,还是有限、无限型,产量均无甚大差异。但如果在适当的灌溉条件下,窄行或双行种植有限型大豆是可行的<sup>[19]</sup>。Cooper发现,在保证大豆不倒伏的高密度条件下,17 cm行距的产量高于50 cm和75 cm行距;早熟品种在灌溉条件下,采用17 cm行距增产幅度达30%—40%<sup>[2]</sup>。一般地,在季节降水配合灌溉的条件下,早熟和晚熟的有限型大豆较适于窄行种植。在缺乏降水的环境条件下,晚熟大豆不表现增产优势,而有限型早熟大豆可获得最佳产量。

分枝类型的大豆(*Glycine max*)与普通类型的大豆相比,节间短、主茎节数多、茎秆强、多分枝且收获指数大,在一定的环境条件下可表现出增产潜力,但产量仍不及普通类型。窄行种植普通类型大豆增产,但分枝类型大豆未表现此规律<sup>[20]</sup>。2个分枝近等基因系B—Tracy—M和B—Wright在宽行种植(76 cm)条件下,生长前期的分枝植株比例较窄行(25 cm)种植分别降低47.5%和22.7%<sup>[21]</sup>。

Redden等在不同地点种植扁豆发现,窄行比宽行增产19%~31%。认为密度和行距、品种和行距存在明显的互作关系,产量与窄行距和密度存在正相关关系,即密度增加、行距减小,产量增加,这可能与增加地表覆盖度有关<sup>[22]</sup>。

因此,品种间由于生长类型、适应性及熟期的差异,对行距表现出不同的反应。早熟、晚熟和有限类

型大豆在窄行条件下表现出的产量优势依赖于灌溉和季节降雨。在降雨有限的环境下,晚熟大豆窄行种植不表现出产量优势。为获得最佳的产量,无限大豆应用于早大豆生产体系和生育期间降雨丰富的区域。

## 2 对光的竞争

太阳辐射是作物光合作用和蒸腾作用的能量来源,是维持作物能量平衡的主要因子,也是影响大豆产量的重要环境因素<sup>[23]</sup>。在生育前期,大部分叶面积都能有效的截获光能,随着叶片数的增加,叶片相互遮荫,从而降低了叶片截获光能的效率。

行距对光竞争的影响主要与冠层结构特性有关,如叶片发育、叶倾角。冠层形状及叶倾角与光能利用密切相关<sup>[24]</sup>。Asanome和Ikeda在3种密度下种植分枝类型的大豆,使其分枝平行(P型)或垂直(R型)于株行,发现R型种植方式的干物重及冠层LAI大于P型,而且冠层的透光特性也优于P型,R型群体有效的光截获使其干物质积累多、形成的LAI大,在25株/m<sup>2</sup>的密度下R型群体产量最高,这也是冠层内合理的光照条件的表现<sup>[25]</sup>。节间短和尖叶2个不同形态的大豆基因型种植在2种行距条件下,Wells等发现在宽行低密度的条件下生殖生长期的光合有效辐射与产量呈正相关( $r^2=0.49$ ),表明低密度、宽行条件下,节间短且尖叶的基因型没有截获足够的光合有效辐射。然而,在一定的环境条件下,即使所有基因型都达到95%的光合有效辐射截获率,产量仍有显著的差异,说明存在其它的产量限制因子<sup>[26]</sup>。

高密度或株行距小的大豆群体冠层郁闭快、叶面积指数(LAI)高,所以光竞争开始的早。Livingston发现60 cm行距比90 cm行距的冠层表面积大73%,尽管不同的行距的光截获的形式相似,但50 cm行距条件下的产量最高<sup>[27]</sup>。窄行种植在LAI小、叶片没有相互遮荫的生育前期提高光截获率,并且增加光截获是高产的主要因素<sup>[28]</sup>。在窄行种植条件下,LAI是群体截获光能的重要因子<sup>[29]</sup>,当开花后大豆冠层LAI达到临界值以后,除光合作用外的许多的因素都影响子粒产量<sup>[30]</sup>。与宽行相比,在窄行种植条件下生育前期大豆冠层表观光合速率(CAP)较高,但后期降低。在大豆冠层封垄(canopy closure)前,总辐射的截获与PAR呈正相关关系,封垄后则不呈现此关系,生殖生长期的PAR不是影响

中等栽培密度宽行和窄行种植的产量差异的因素<sup>[30]</sup>。Flenet 等表明行距影响消光系数, 随着行距的增加消光系数降低。在窄行种植条件下, 更大的光截获率是增加产量的决定因素, 而不是光合有效辐射和  $CAP^{[31]}$ 。

因此, 行距影响光的竞争依赖于冠层结构、叶面积发育和叶倾角的特性。株型收敛的分枝大豆有利于截获光能。今后应重视不同区域大豆生育期间总辐射的差异对不同行距种植的影响, 对此影响的深入理解将对区域性大豆高产生态育种目标的确立和高产措施的建立有着积极的现实意义。

### 3 对水的竞争

行作改变作物的根系分布, 良好的根系分布有利于充分利用土壤水分。单位面积根量的增加可能引起单株根量减少<sup>[32]</sup>, 但根系密度不决定根系的吸水量<sup>[33]</sup>。大豆密植条件下根系分布广是高产的原因之一<sup>[34]</sup>。大豆主根长度随密度的增加表现增加的趋势<sup>[35]</sup>。Peters 和 Johnson 发现, 与 51 cm 的行距相比, 102 cm 行距大豆没有充分利用土壤中的有效水分, 根系分布范围小<sup>[36]</sup>。Raper 和 Barber 指出, 窄行大豆侧根聚集向下生长, 而不相互交织, 当宽行种植时则较倾斜向下生长<sup>[37]</sup>。

在有关行距与灌溉措施或自然降雨之间的关系试验中, 一些结论尚不一致, 这可能与水分胁迫程度、胁迫时期、处理条件、土壤类型以及大豆生长习性有关。土壤水的力学因子(土壤水压、水分变化率、水传导性)和根系穿插特性的差异也是重要因素。土壤水势高时有利于根系从表层土壤吸收水分, 随着表层土壤水分的丧失, 水分的流动性减弱, 深层土壤的水分吸收增加<sup>[33, 38]</sup>。在保证 IW:CPE (irrigation water; cumulative pan evaporation) 为 0.6 的灌溉条件下, 30 cm 行距产量最高, 且施磷增加产量。密度与行距不影响冠层蒸散, 但水分利用率影响产量对密度的响应<sup>[39, 40]</sup>。必须指出上述结果是在印度干旱地区哈里亚纳省获得的。Lehrsch 等研究表明, 38 cm 行距较 76 cm 行距种植的大豆吸收更多的土壤可利用水, 且增产 9%, 其原因是窄行种植提早封垄 20 天, 封闭的冠层有效地降低了土壤紧实度, 减少了蒸发, 所以在密西西比东南部的盐化粘土上采用 38 cm 行距的种植模式水分利用率明显增加<sup>[41]</sup>。Bowers 等研究发现, 当 7—8 月份降雨量在 100—270 mm 时, 产量对行距的响应敏感<sup>[15]</sup>。当水

分胁迫降低产量时, 30 cm 行距的产量也比 80 cm 的产量高。Graterol 等指出, 如果生殖生长前期水分供应充足, 窄行较宽行种植有明显的产量优势, 而当年降雨量高于平均值但雨量分布不均匀时, 不论窄行或宽行种植, 还是有限或无限结荚习性大豆, 均无产量差异<sup>[18]</sup>。

由此, 窄行种植改变了根系生长方式和分布, 提高水分利用效率, 但多半是在干旱少雨地区获得的。窄行提高水分利用效率也与提早封垄有关。总体来讲, 这种优势的取得与生育期的降水分布密切相关。

### 4 对养分的竞争

农田养分主要分布在土壤表层, 但如果表层土壤干旱, 就会限制养分的有效性, 进而影响植株生长及产量。有关行距与养分竞争关系的报道不多。高肥力土壤促进植株生长, 宽行种植可增加产量; 低肥力土壤抑制植株生长, 冠层覆盖度差, 所以窄行种植可获得高产<sup>[8, 42]</sup>。Sabbe 和 Hattey 研究表明, 高肥处理条件下, 不同行距的产量差异明显<sup>[43]</sup>。Khan 等报道最高的产量是在 40—60 NPKg/hm<sup>2</sup> 和 30 cm 行距情况下获得的, 增施肥料、减小行距, 产量有增加的趋势<sup>[44]</sup>。干旱地区的印度, 在 IW:CPE 为 0.6 的灌溉条件下, 增施磷肥、减小行距, 则产量及子粒 N、P、K 含量增加<sup>[45]</sup>。

Jain 等也提出, 30 cm 行距条件下, 作物吸收 N、P、K 量最大, 40 cm 时, 杂草吸收的元素量最大, 大量的养分在除草过程中丢失<sup>[46]</sup>; 60 cm 行距种植时, 对子粒中的 N、P 含量及植株各部位的 K 含量影响较大<sup>[47]</sup>。但也有研究表明, 与窄行相比, 宽行大豆根系侧向生长旺盛, 所以每一土层的根密度差异不大。行距不影响地上部生物量及植株组织中的磷含量, 两处理相似的磷吸收与差异不明显的根系分布及地上部生物量的积累相一致<sup>[48]</sup>。

氮素固定是大豆的重要氮源, 增加结瘤、增强共生固氮可增加大豆产量<sup>[49]</sup>。以往研究表明, 根瘤的固氮能力与寄主的可利用水分有关<sup>[50]</sup>, 当根瘤中的氧气和光合产物供应减少时, 水分胁迫直接影响根瘤活性<sup>[21]</sup>。然而, 即使根瘤周围的土壤干燥, 但只要植株从根瘤以下的区域吸收到足够的水分, 固氮就不会停止<sup>[51]</sup>。Jamro 等发现, 单株根瘤重随着施氮量的增加而减少, 60 cm 行距的根瘤重最大, 产量也较高<sup>[52]</sup>。然而也有研究表明, 在 30 cm 行距并施 N 肥的产量较高, 但与其它处理差异不大<sup>[53]</sup>。正常

结瘤的大豆品种的产量显著高于结瘤突变的品种,但行距不影响产量<sup>[49]</sup>。这些研究结果表明,光照和水分影响行距与固氮的互作,窄行种植不直接影响结瘤。由此,行距影响养分吸收,产量及植株体内的N、P、K含量随着行距的减小而增加,其程度受施肥水平等因素的制约,行距不影响固氮作用。

## 5 与杂草的竞争

杂草与大豆相互竞争有限的环境资源,杂草的生长增加植物群落数量,进而制约大豆的产量形成,产量降低<sup>[54]</sup>。如果作物与杂草同时出苗,那么在杂草对产量产生影响之前有一个时间段,即在这段时间内如果不对杂草进行控制,杂草就会造成产量损失,这个时间段的长短与作物和杂草类型有关<sup>[55]</sup>。

植株密度和行距也是抑制杂草的重要因素,窄行密植封垄快,冠层郁闭,有效减少了田间除草作业,并延长除草剂的后效,产量也高于宽行大豆<sup>[6]</sup>。Dubey对比22.5 cm和45 cm行距发现,除草剂效率在52.13—92.29%之间变化,窄行种植的杂草控制效果最好、产量最高<sup>[57]</sup>。窄行种植条件下施用除草剂回报率平均比宽行种植高27%,其中窄行种植施用PRE除草剂回报率最高。在粘土上的免耕窄行种植,苗前PRE处理的杂草控制措施效率最高<sup>[58]</sup>,原因在于杂草的数量和干重受到窄行大豆的抑制<sup>[59]</sup>。产量和净收益受行距和控制杂草措施的影响,经过经济效益分析,窄行种植大豆效益最大<sup>[60]</sup>。Shaw和Smith研究表明,97 cm行距条件下,苗前施用甲草胺+赛克津,苗后喷施赛克津+2,4-DB或人工除草可有效抑制钝叶决明(*Cassia obtusifolia* L.)数量;在18 cm行距下,播前和苗前喷施赛克津即可减少钝叶决明数量;在pH较高的土壤条件下,无论前茬是18 cm行距还是97 cm行距都能有效减少钝叶决明数量<sup>[61]</sup>。除草剂、人工除草对杂草的传播发生都比对照有明显的抑制作用,45 cm行距下的杂草比60 cm和90 cm行距杂草少<sup>[62]</sup>。Shaw等报道,在生育前期,不论行距大小,播前和苗前施用赛克津或播前施用赛克津+苗后施用赛克津或 $C_{15}H_{15}N_4SO_6$ 都可抑制钝叶决明90%;在生育后期,25 cm行距下施用赛克津或赛克津+ $C_{15}H_{15}N_4SO_6$ 抑制钝叶决明80%以上,效果好于97 cm行距。25 cm行距下播前施用赛克津或赛克津+ $C_{15}H_{15}N_4SO_6$ 对钝叶决明抑制效果等于甚至好

于97 cm行距下苗前和苗后施用这3种除草剂<sup>[63]</sup>。Nice等研究表明,行距低于76 cm,增加大豆群体密度,抑制钝叶决明数量20%,效果好于未施用除草剂或仅施用1次除草剂的处理,但行距不影响钝叶决明的死亡率和干物重<sup>[64]</sup>。行距减小,增加了对水麻的抑制。76 cm的行距下,多次施用甘草磷或增加甘草磷用量可抑制水麻。减小行距,多次施用甘草磷或增加甘草磷用量在8年定点试验中,有4年较好地控制天鹅绒杂草<sup>[65]</sup>。

种植方式不同,产量存在明显的差异,但处理间苍耳、天鹅绒的干物重没有显著差异,杂草与倒伏没有互作关系<sup>[60]</sup>。Marwat和Nafziger发现,长杂草的小区较无杂草的小区有更高的冠层光截获,增加的光截获可能与杂草的生长有关。以上结果表明,杂草和倒伏都会导致减产,且两者若发生在同一田块则产生叠加的减产效应,但大豆倒伏不会促进杂草的生长<sup>[66]</sup>。

行距不影响杂草密度、杂草发生的时间、峰值及生物量。不同杂草种群的群聚特性与种的特异生物学特性有关,这种特性影响种子的传播、萌发及出苗。由于行距不影响杂草的发生类型及出苗的群聚特性,所以相同的措施在不同行距(18 cm和76 cm)的处理效果一致<sup>[67]</sup>。然而,多数情况下,窄行的杂草数量、干重和特定的杂草群落会有所降低。

尽管行距并不影响杂草的密度、发生时间和生物量。但与宽行种植相比,窄行种植控制杂草效果、施用除草剂的回报率和经济效益均高。因此,最大限度地利用窄行种植的该种优势,对大豆产量的增加和效益提高有着现实意义。

## 6 结论

行距导致竞争。主要的竞争因子有基因型、光、水、养分和杂草。不同品种对行距反应不同,有限结荚习性大豆窄行种植产量较高。季节降雨和品种的抗倒伏能力影响大豆品种对行距的响应。与宽行大豆相比,窄行大豆增加了光截获是增产的主要因素。窄行提高干旱地区的水分利用效率。行距影响养分吸收,行距减小,产量及N、P、K吸收增加。行距不影响氮素固定。窄行大豆封垄早,可更好地配合除草剂控制杂草。窄行种植有效控制杂草的数量,但杂草密度、发生的时间及峰值不受其影响。今后应注重机理研究,包括遮荫反应、营养和水分的吸收分配、叶倾角变化、不同冠层层次的光能利用,以及土

壤环境的变化, 尤其是不同行距的根区微环境的变化。

## 参 考 文 献

- 1 Bleasdale J. K. A. Some problems and prospects in plant spacing [J]. *Journal of the Royal Agricultural Society of England*. 1973, 134: 89—100
- 2 Cooper, R. L. Response of soybean cultivars to narrow rows and planting rates under weed-free conditions[J]. *Agronomy Journal*. 1977, 69: 89—92
- 3 Cooper, R. L. Fausey N. R., Streeter, J. G. Yield potential of soybean grown under a subirrigation/ drainage water management system[J]. *Agronomy Journal*. 1991, 83(5): 884—887
- 4 Milthorpe F. L. The nature and analysis of competition between plants of different species. In 'Mechanisms in Biological Competition' (ed. F. L. Milthorpe)[C]. Symposium, Society of Experimental Biology. 1961, 15: 330—355
- 5 Donald, C. M. Competition among crop and pasture plants[J]. *Advances in Agronomy*. 1963, 15: 111—118
- 6 Loomis R. S., Williams W. A. Maximum crop productivity: an estimate[J]. *Crop Science*. 1963, 3: 67—72
- 7 Herbert S. J. Growth and grain yield of *Lupinus albus* cv. Ultra at different plant populations[J]. *New Zealand Journal of Agricultural Research*. 1977, 20: 118—125
- 8 Hinson, K., Hanson W. D. Competition studies in soybeans[J]. *Crop Science*. 1962, 2: 117—123
- 9 Singh, J. N., Tripathi S. K., Negi, P. S. Response of spring soybean to date of planting plant population and row spacing[J]. *Indian Journal of Agronomy*. 1973, 18: 297—301
- 10 Lin C. S., Torrie J. H. Effect of plant spacing within a row on the competitive ability of soybean genotypes[J]. *Crop Science*. 1968, 50: 585—588
- 11 Hicks, D. R., Pendleton, J. W., Bernard, R. L. et al Response of soybean plant types to planting patterns[J]. *Agronomy Journal*. 1969, 61: 290—293
- 12 Robinson, S. L., Wilcox, J. R. Comparison of determinate and indeterminate soybean near-isolines and their response to row spacing and planting date[J]. *Crop Science*. 1998, 38(6): 1554—1557
- 13 Ablett G. R., Beversdorf, W. D., Dirks, V. A. Row width and seeding rate performance of indeterminate, semidetemiant and determinate soybean[J]. *Journal of Production Agriculture*. 1991, 4(3): 391—395
- 14 Ibrahim, M. E. Response of determinate and indeterminate soybean cultivars to plant pattern and density[J]. *Annals of Agricultural Science — Moshtohor*. 1996, 34(4): 1431—1456
- 15 Bowers G. R., Rabb, J. L., Ashlock, L. O., et al. Row spacing in the early soybean production system[J]. *Agronomy Journal*. 2000, 92(3): 524—531
- 16 Weaver, D. B., Akridge, R. L., Thomas, C. A. Growth habit, planting date, and row-spacing effects on late-planted soybean [J]. *Crop Science*. 1991, 31(3): 805—810
- 17 Beuerlein, J. E. Yield of indeterminate and determinate semidwarf soybean for several planting dates, row spacings, and seeding rates [J]. *Journal of Production Agriculture*. 1988, 1(4): 300—303
- 18 Graterok Y. E. Elmore R. W., Eisenhauer, D. E. Narrow — row planting systems for furrow-irrigated soybean[J]. *Journal of Production Agriculture*. 1996, 9(4): 546—553
- 19 Hugie W. V., Orf J. H. Genotypic interaction of early maturity soybean with row spacing[J]. *Crop Science*. 1989, 29(6): 1447—1451
- 20 Adams P. D., Weaver, D. B. Brachytic stem trait, row spacing, and plant population effects on soybean yield[J]. *Crop Science*. 1998, 38(3): 750—755
- 21 Huang, C. Y., Boyer J. S., Vanderhoef, L. N. Acetylene reduction (nitrogen fixation) and metabolic activities of soybean having various leaf and nodule water potential[J]. *Plant Physiology*. 1975, 56: 222—227
- 22 Redden, R., Desborough, P., Tompkins, W., et al. Responses of adzuki bean as affected by row spacing, plant density and variety [J]. *Australian Journal of Experimental Agriculture*. 2001, 41(2): 235—243
- 23 Mathew, J. P., Herbert, S. J., Zhang, et al. Differential response of soybean yield components to the timing of light enrichment[J]. *Agronomy Journal*. 2000, 92(6): 1156—1161
- 24 Singh, J. N., Peters, D. B., Pendleton, J. W. Net and spectral radiation in soybean canopies[J]. *Agronomy Journal*. 1968, 60: 542—545
- 25 Asanome, N., Ikeda T. Effect of branch direction's arrangement on soybean yield and yield components[J]. *Journal of Agronomy and Crop Science*. 1998, 181(2): 95—102
- 26 Wells, R., Burton, J. W., Kilen, T. C. Soybean growth and light interception: response to differing leaf and stem morphology[J]. *Crop Science*. 1993, 33(3): 520—524
- 27 Livingston, S. D. The effects of microclimate on the yield of York soybeans in five row arrangements[J]. *Dissertation Abstracts International*, B 1975, (35): 3702—3703
- 28 Board, J. E., Harville B. G. Explanations for greater light interception in narrow — vs. wide — row soybean[J]. *Crop Science*. 1992, 32(1): 198—202
- 29 Board, J. E., Kamal, M., Harville, B. G. Temporal importance of greater light interception to increase yield in narrow — row soybean [J]. *Agronomy Journal*. 1992, 84(4): 575—579
- 30 Wells, R. Soybean growth response to plant density: relationships among canopy photosynthesis, leaf area, and light interception[J]. *Crop Science*. 1991, 31(3): 755—76
- 31 Flenet, F., Kiriya, J., Board, J. E., et al. Row spacing effects on light extinction coefficients of corn, sorghum, soybean and sunflower[J]. *Agronomy Journal*. 1996, 88(2): 185—190
- 32 Buttery, B. R. Effects of plant population and fertilizer on the growth and yield of soybeans[J]. *Canadian Journal of Plant Science*. 1969, 49: 659—673
- 33 Reicosky, D. C., Millington, R. J., Klute, A. et al. Patterns of

- water uptake and root distribution of soybeans ( *Glycine max* ) in the presence of a water table[ J ]. *Agronomy Journal*. 1972, 64: 292—297
- 34 Burnside O. C., Colville, W. L. Soybean and weed yields as affected by irrigation, row spacing, tillage and amiben[ J ]. *Weeds* 1964, 12: 109—124
- 35 Mishra M. N., Singh, A. M. Root development in relation to plant population and fertility levels in soybeans[ J ]. *Annu. Arid Zone* 1968, 7: 121—126
- 36 Peters, D. B., Johnson, L. C. Soil moisture use by soybeans[ J ]. *Agronomy Journal* 1960, 52: 687—689
- 37 Rapar, C. D. Jr., Barber, S. A. Rooting systems of soybeans. I. Differences in root morphology among varieties[ J ]. *Agronomy Journal*. 1970, 62: 581—584
- 38 Arya L. M., Blake G. R., Farrell, D. A. A field study of soil water depletion patterns in presence of growing soybean roots: III. Rooting characteristics and root extraction of soil water[ C ]. *Soil Science Society of America Proceeding* p. 1975, 437—444
- 39 Rajput, R. L., Kaushik, J. P., Verma O. P. Consumptive water use efficiency and moisture extraction pattern of soybean as influenced by irrigation, phosphorus and row spacing[ J ]. *Haryana Journal of Agronomy*. 1991, 7: 1—6
- 40 Dougherty, C. T. The influence of irrigation, row spacing, plant population, and inoculation on the yield of soybeans in Canterbury [ J ]. *New Zealand Journal of Agricultural Research*. 1969, 12: 367—380
- 41 Lehrsch, G. A. Whisler, F. D. Buehring, N. W. Cropping system influences on extractable water for mono— and double—cropped soybean[ J ]. *Agricultural Water Management*. 1994, 26 (1—2): 13—25
- 42 Weber, C. R. Physiological concepts for high soybean yields[ J ]. *Field Crop Abstracts*. 1968, 21: 313—317
- 43 Sabbe, W. E., Hattey, J. A. Soybean fertility and row width studies on groups IV and V soybean on a non—irrigated loessial soil[ J ]. *Research Series Arkansas Agricultural Experiment Station*. 1993, 425: 137—139
- 44 Khan, W. A., Qayoom, S. M., Tunio, S. D. Effect of planting geometry and fertility level on performance of soybean[ J ]. *Sarhad Journal of Agriculture*. 1993, 9 (3): 201—203
- 45 Rajput, R. L., Kaushik, J. P., Verma O. P. Nutrient uptake by soybean ( *Glycine max* L. Merrill ) [ J ]. *Journal of Oilseeds Research*. 1991, 8: 113—116
- 46 Jain, H. C., Tiwari, J. P., Jain, K. K., et al. Effect of herbicides on nutrient uptake by soybean crop and weeds under different row spacings and seeding rates[ J ]. *World Weeds*. 1995, 2(3—4): 197—201
- 47 Rajput, R. L., Shrivastava, U. K. Concentration of NPK in different plant parts of soybeans ( *Glycine max* ) as influenced by levels of irrigation, phosphorus and row spacing[ J ]. *Agricultural Science Digest*. 1994, 14(3—4): 201—204
- 48 Scheiner, J. D., Gutierrez F. H., Lavado, R. S. Root growth and phosphorus uptake in wide— and narrow—row soybeans[ J ]. *Journal of Plant Nutrition*. 2000, 23 (9): 1241—1249
- 49 Pracht, J. E., Nickell, C. D., Harper, J. E., et al. Agronomic evaluation of non—nodulating and hypernodulating mutants of soybean [ J ]. *Crop Science*. 1994, 34(3): 738—740
- 50 Sprent, J. I., Bradford, A. M. Nitrogen fixation in field beans ( *Vicia faba* ) as affected by population density, shading and its relationship with soil moisture[ J ]. *Journal of Agricultural Science, Cambridge*. 1977, 88: 303—310
- 51 Hume, D. J., Criswell, J. G., Stevenson, K. R. Effects of soil moisture around nodules on nitrogen fixation by well watered soybeans[ J ]. *Canadian Journal of Plant Science*. 1976, 56: 811—815
- 52 Jamro, G. H., Memon, G. H., Ibutota, K. A. Effect of combined nitrogen and row spacing on nodulation and grain yield of soybean [ J ]. *Sarhad Journal of Agriculture*. 1990, 6(2): 107—112
- 53 Singh, H. N., Prasad, F. M., Varshney, M. L. Effect of nitrogen and row spacing on nodulation growth and yield of soybean ( *Glycine max* L. Merr ) var Gaurav[ J ]. *New Agriculturist*., 1992, 3: 31—34
- 54 Umarani, R., Selvaraj, J. A. Effect of weed and crop densities on seed yield of soybean[ J ]. *World Weeds*. 1996, 3(1—2): 43—46
- 55 Eaton, B. J., Russ, O. G., Feltner, K. C. Competition of velvetleaf, prickly sida, and Venice mallow in soybeans[ J ]. *Weed Science*. 1976, 24: 224—228
- 56 Mickelson, J. A., Renner, K. A. Weed control using reduced rates of postemergence herbicides in narrow and wide row soybean[ J ]. *Journal of Production Agriculture*. 1997, 10: 431—437
- 57 Dubey, M. P. Growth, yield and economics of soybean ( *Glycine max* ) as influenced by weed control methods and row spacings[ J ]. *Indian Journal of Agronomy*. 1998, 43(3): 540—545
- 58 Swanton, C. J., Vyn, T. J., Chandlee, K., et al. Weed management strategies for no—till soybean ( *Glycine max* ) grown on clay soils[ J ]. *Weed Technology*. 1998, 12(4): 660—669
- 59 Nimje, P. M. Effect of row spacing, mulching and weed control on weed growth and yield of soybean ( *Glycine max* ) [ J ]. *Indian Journal of Agronomy*. 1996, 41(3): 427—432
- 60 Avav, T., Okereke, O. U. Effect of spatial arrangement and weeding regime on weed growth in soybean ( *Glycine max* (L.) Merr. ) [ J ]. *Crop Research Hisar*. 1997, 14 (2): 199—204
- 61 Shaw, D. R., Smith, C. A., Snipes, C. E. Sicklepod ( *Cassia obtusifolia* ) control in soybean ( *Glycine max* ) grown in rotations of 97— and 18—cm row spacings[ J ]. *Weed Science*. 1989, 37: 748—752
- 62 Araele, A. O., Bishnoi, U. R. Effects of tillage, weed control method and row spacing on soybean yield and certain soil properties [ J ]. *Soil and Tillage Research*. 1992, 23: 333—340
- 63 Shaw, D. R., Bruff, S. A., Smith, C. A. Effect of soybean ( *Glycine max* ) row spacing on chemical control of sicklepod ( *Cassia obtusifolia* ) [ J ]. *Weed Technology*. 1991, 5: 286—290
- 64 Nice, G. R. W., Buehring, N. W., Shaw, D. R. Sicklepod ( *Senna obtusifolia* ) response to shading, soybean ( *Glycine max* ) row spacing, and population in three management systems[ J ]. *Weed Technology*. 2001, 15: 155—162

- 65 Young, B. G., Young, J. M., Gonzini, L. C., et al. Weed management in narrow- and wide-row glyphosate-resistant soybean ( *Glycine max* ) [ J ]. Weed Technology. 2001, 15: 112-121
- 66 Marwat, K. B., Nafziger, E. D. Cocklebur and velvetleaf interference with soybean grown at different densities and planting patterns [ J ]. Agronomy Journal. 1990, 82(3): 531-534
- 67 Mulugeta, D., Boerboom, C. M. Seasonal abundance and spatial pattern of *Setaria faberi*, *Chenopodium album* and *Abrus theophrasti* in reduced-tillage soybeans [ J ]. Weed Science. 1999, 47(1): 95-106

## INFLUENCES OF ROW-SPACING ON COMPETING LIMITED RESOURCES IN SOYBEAN ( *GLYCINE MAX* L. Merrill )

Liu Xiaobing<sup>1,2</sup> Jin Jian<sup>1</sup> Wang Guanghua<sup>1</sup> S. J. Herbert<sup>2</sup> A. M. Hashemi<sup>2</sup>

(1. Northeast Institute of Geography and Agro-ecology, CAS, Harbin, 150040;

2. Department of Plant and Soil Sciences, University of Massachusetts, Amherst, MA, 01003 USA)

**Abstract** Growing soybean in different row-spacings introduces competition. Competition begins when the immediate supply of a single necessary factor falls below the combined demands of all plants. This paper reviews the main competition factors of genotypes, light, water, nutrients and weed in responses to row spacings for the past four decades. It demonstrated that responses of soybean genotypes to row width differ among cultivars, which depend on seasonal rainfall and irrigation. Determinate types produce more yield in narrow-rows, and cultivars with lodging resistance should be adopted in narrow-spacings, but indeterminate soybean should also be used to optimize yields in certain system. Narrow-compared with wide-row soybean ( *Glycine max* ) cultivation increases light interception (LI) and dominant components for the increase come from LAI, light extinction coefficients and branch types. Water use efficiency and evapotranspiration are not influenced by row spacing, but seed yield could be increased if irrigation is applied. Nutrient uptake is significantly affected by row spacing, seed yields and uptake of N, P, K in plants increases with decreasing row spacing, and the effects depend on the fertilizer levels. Other factors rather than row spacing affect nitrogen fixation. Weed density, peak time and periodicity of weed emergence are not affected by row spacing, but better complementary weed control by the herbicides at the used doses can be obtained in narrow spacing due to the reduced weed number and dry weight. More researches are required to investigate the physiological responses, nutrient and water uptake and translocation, light utilization at different layers of canopy and soil environment changes in different row-spacings.

**Key words** Row spacings; Light interception; Water and nutrient uptake; Weed control; Soybean