

波浪冠层栽培模式对高油大豆产量 品质及微环境生态因子的影响

苗保河^{1,2,3}, 刘 波⁴, 董庆裕¹, 余松烈^{1,*}, 李向东^{1,*}, 张丽娟⁴,
何启平⁵, 朱 陶⁵, 刘兴坦⁵

(1. 山东农业大学农学院/作物生物学国家重点实验室/农业部小麦栽培生理与遗传改良重点开放实验室, 山东泰安 271018;

2. 菏泽市农业科学院 山东菏泽, 274000; 3. 中国科学院植物研究所植被与环境变化国家重点实验室, 北京 100093;

4. 青岛农业大学, 山东青岛 266109; 5. 菏泽学院 山东菏泽 274000)

摘要: 2005~2006 年, 在菏泽市农科院试验田, 以高油大豆品种鲁豆 9 为试验材料, 研究波浪冠层栽培模式对大豆产量、产量构成因素、蛋白质、脂肪、脂肪酸组分以及微环境生态因子的影响。结果表明, 与对照相比, 波浪冠层群体增产 253.65 kg/hm², 增产 11.76%; 株高降低 1.21 cm, 降低 1.46%; 在籽粒脂肪总量提高 1.52% 基础上, 亚油酸含量提高 1.60%, 亚麻酸和硬脂酸含量分别降低 0.14% 和 7.20%。波浪冠层各密度群体间株高和分枝数差异均达极显著水平, 单株粒数和单株粒重差异均达显著水平, 百粒重差异不显著。波浪冠层群体光照强度和 CO₂ 浓度分别增加 67.68 μmol·m⁻²·s⁻¹ 和 8.31 μmol·mol⁻¹, 分别增加 5.06% 和 2.45%; 湿度增加 0.33 mbar, 增高 4.47%; 低温生育期时温度增加 1.86℃, 增加 0.69%, 高温生育期时温度平均降低 0.17℃, 降低 0.51%。光照、温度、湿度和 CO₂ 等微环境生态因子的变化, 更利于高油大豆产量的形成和品质的改善。

关键词: 栽培模式; 波浪冠层; 高油大豆; 产量; 品质; 生态因子

文章编号: 1000-0933(2008)05-2160-09 中图分类号: Q142, Q948, S181 文献标识码: A

Yield, quality and ecological factors of micro-environment of waving-canopy cultural type of high oil soybean

MIAO Bao-He^{1,2,3}, LIU Bo⁴, DONG Qing-Yu¹, YU Song-Lie^{1,*}, LI Xiang-Dong^{1,*}, ZHANG Li-Juan⁴, HE Qi-Ping⁵, ZHU Tao⁵, LIU Xing-Tan⁵

1 College of Agronomy, Shandong Agriculture University, State Key Laboratory of Crop Biology, Key Laboratory of Wheat Physiology and Genetics Improvement, Ministry of Agriculture, Taian 271018, China

2 Heze Academy of Agricultural Science, Heze 274000, China

3 State Key Laboratory of Vegetation and Environmental Change, Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100093, China

4 Qingdao Agriculture Collage, Qingdao 266109, China

5 Heze College, Heze 274000, China

Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(5): 2160~2168.

Abstract: This study assessed the high oil soybean variety Ludou9 in the experimental field of Heze Agricultural Academy

基金项目: 山东省院士科研活动经费资助项目; 国家 863 计划资助项目 (国科农函 [2005] 50 号); 国家科技攻关计划资助项目 (2001BA507A); 山东省自然科学基金资助项目 (9908)

收稿日期: 2007-01-21; **修订日期:** 2008-02-28

作者简介: 苗保河 (1969~), 男, 山东鄄城人, 博士, 主要从事大豆遗传育种和生理生态研究. E-mail: miaobaohe@163.com

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: miaobaohe@sdaa.edu.cn; E-mail: lixdong@sdaa.edu.cn

Foundation item: The project was financially supported by Academician Foundation of Shandong, 863 National Research Program of China (No. 2005(50)), National Research Program of China (No. 2001BA507A), Shandong Province Natural Science Foundation (No. 9908)

Received date: 2007-01-21; **Accepted date:** 2008-02-28

Biography: MIAO Bao-He, Ph. D., mainly engaged in soybean ecology and physiology. E-mail: miaobaohe@163.com

during 2005—2006. We determined the effect of waving-canopy cultural type on soybean yield and its constituents, the protein, oil and fatty acid of soybean seeds, and the ecological factors of micro-environment. Compared with the control, the yield of waving-canopy groups increased by 11.76% to $253.65\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ and plant height decreased 1.21cm, a decline of 1.46%. In addition, all contents of the oil increased by 1.52%, the content of linoleic acid increased by 1.6%, and the content of linolenic acid and stearic acid decreased by 0.14% and 7.20%, respectively. The differences of plant height and branches between waving-canopy density groups were all significant at $p < 0.01$, per plant seeds and yield were significant at $p < 0.05$, and the 100 seeds weight was insignificant. The PAR and CO_2 of waving-canopy groups increased $67.68\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ and $8.31\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$, respectively. This represents increases by 5.06% and 2.45%, respectively. The humidity of waving-canopy groups increased 0.33mbar, or 4.47%. The temperature of waving-canopy groups increased 1.86°C , or 0.69%, at low temperature growth stage, while the average temperature decreased 0.17°C , a decline of 0.51%, at high temperature growth stages. The changes of PAR, CO_2 , temperature and humidity of the micro-environment favoured increased yield and improved quality of the high oil soybean.

Key Words: cultural type; waving-canopy; high oil soybean; yield; quality; ecological factor

自 20 世纪 80 年代以来,大豆栽培工作者针对各地区的具体情况以及诸多生态环境限制因子,以高产、优质、高效、生态和安全为目标,将优良品种内在属性与栽培调控外在生产要素有机组装起来,形成了一个系统化、标准化和数量化的栽培模式,先后出现永常、垄三、高寒、波浪冠层、窄行密植和垄行覆膜等系列栽培模式,并在生产上得以广泛的应用^[1~3]。

早在 1978~1980 年,李照远等采用麦田畦埂套种,畦面间种夏大豆的方法,错开生育期,形成波状冠层,增产效果显著^[4];1980~1983 年,常耀中等采用高矮不同品种隔行间作、同品种不同密度和施肥量隔行间作及同品种喷施 TIBA 形成高矮隔行间作等 3 种方式进行大豆波浪冠层栽培法的研究,增产 6.0%~15.1%,并肯定了该栽培法在生产上很有前途^[5]。

在前人研究工作基础上,1994~1996 年,苗保河等人根据日光温室大棚原理和不同生态类型高产夏大豆生物学特性及其生长发育规律,改进了波浪冠层栽培模式^[2]。该模式将同一品种选择若干个不同密度群体种植小区(每小区 3~5 行),按照密度从大到小顺序,由北向南东西行向依次重复排列,在作物生长发育过程中,由于密度的差异,致使不同密度群体的根系、株高、叶片、冠层和株型等出现规律性的差异,形成一个个错落有序的梯形群体,像波浪一样,最大限度地利用太阳能,以达到高产、优质、高效和低耗的目的。

关于波浪冠层栽培模式对大豆产量和品质的影响、高产高效的生理生化机制、群体高光效特性、活性氧代谢和膜脂过氧化以及产量品质形成和积累的调控效应等已有系统的研究^[6,7],但其对地下和地上微生态环境影响及对田间小气候调控作用都亟待深入探讨和研究。本试验从作物产量和品质形成的生态环境入手,研究波浪冠层栽培模式对高油大豆微环境生态因子的影响以及对田间小气候增产的调控效应,为其推广应用提供理论依据和技术支撑。

1 研究区域状况

菏泽地处黄淮腹地。全市位于北纬 $34^\circ32'$ ~ $36^\circ10'$,东经 $114^\circ48'$ ~ $116^\circ24'$,海拔 44~56m,均属黄河冲积平原,温带季风型大陆性气候,全年无霜期 210d, $\geq 10^\circ\text{C}$ 积温 4500~4610 $^\circ\text{C}$,日照时数 2450~2600h,年降雨量 590~740mm,大豆生育期间降雨 420~530mm,占全年 70% 以上,光、温、水、热、土等自然资源均可满足小麦-大豆一年二熟制耕作要求。

2 研究材料与方法

2.1 试验品种

鲁豆 9 号系菏泽市农业科学研究院选育的高油大豆新品种(1993 年通过山东省审定),常年油分含量 20.97% 左右,亚有限结荚习性,根系发达,主茎高大,有分枝,自动调节能力强,具有 $4500\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 产量潜力。

2.2 试验设计

2005~2006年,连续2a试验在菏泽市农业科学研究所大豆试验田进行,在以前对品种、密度、对照设置和种植行向等因素正交优化筛选和多年试验结果的基础上,根据品种生物学特性和生长发育规律,以下设计模式最佳,即设置4个密度群体和1个对照群体,从北向南依次为,I:30.0万株·hm⁻²、II:24.0万株·hm⁻²、III:18.0万株·hm⁻²、IV:12.0万株·hm⁻²,对照CK 18.0万株·hm⁻²,为该品种生产上最适宜的栽培密度(该密度作对照比用波浪冠层群体平均密度21.0万株·hm⁻²作对照其效果更好,也更贴近生产实际)。每密度群体5行区,小区行长12.0m、行距0.4m,每处理含CK共5个密度群体,10次重复。在大豆生长过程中,由于密度差异和品种自动调节等作用,大密度群体植株向纵向生长快,株高较高,小密度群体植株则相反,从而形成了波浪冠层群体。

2.3 试验土地

前茬冬小麦,平均单产7500kg·hm⁻²左右。试验地为壤土地,地势平坦,肥水均匀,有机质含量1.24%,pH8.46,全氮含量880.3mg·kg⁻¹,碱解氮54.67mg·kg⁻¹,速效磷20.25mg·kg⁻¹,速效钾126.6mg·kg⁻¹,基施有机肥15.0t·hm⁻²,6月中旬播种,10月上旬收获,初花期一次性追施复合肥450kg/hm²,管理如同生产田。

2.4 试验方法

选取6个重复,在分枝、开花、结荚、鼓粒和成熟5个时期,每密度小区取6株进行根瘤数量、根冠比、株高、分枝数、单株粒数、单株粒重和百粒重等指标测定。同时,将大豆植株群体分为上部(植株顶部倒三叶处)、中部(植株距地面2/3处)和下部(植株距地面1/3处)3个冠层,在每个生育期选择晴朗无风天气各3天,每天11:00~13:30,用LI-250A型光照计、LI-810型CO₂分析仪和通风干湿表等分别测定田间光照强度、CO₂浓度以及温度和湿度等生态因子指标,均重复3次。成熟时,每小区连续取10株进行室内考种,从小区未取样的那端收获,每小区取中间3行收获6m,单晾单晒单脱,待籽粒风干后计产量并取样进行品质分析。粗脂肪测定参照GB-2096-1982(索氏提取法);粗蛋白测定参照GB-2095-1982(半微量凯氏定氮法);脂肪酸测定参照郑云兰等脂肪酸组分的气相色谱法^[8]。

2.5 数据处理

试验数据为两年结果平均值,生物统计采用DPS,做图采用EXCEL 2003。

3 结果与分析

3.1 波浪冠层群体对产量及其构成因素的影响

从表1可知:波浪冠层群体与对照相比,平均增产16.91kg·667m⁻²、增产11.76%,差异达极显著水平,整个群体加性效应表现突出。波浪冠层各密度群体与对照相比均增产,增产幅度为1.58%~16.65%,平均为11.76%。其中,III密度>II密度>I密度>IV密度,且各密度群体间产量差异呈显著或极显著水平。

表1 波浪冠层群体对产量及其构成因素的影响

Table 1 Effect of waving-canopy groups on yield and its constitutes of the soybean

密度 Density (万株·hm ⁻²)	产量 Yield (kg·667m ⁻²)	株高 Plant height (cm)	分枝 Branch (个)	单株粒数 Per plant seeds (粒)	单株粒重 Per plant seeds yield(g)	百粒重 100seeds weight (g)
I	162.03ABbc	121.36Aa	0.63Bb	42.7Cc	8.10Cc	18.97 a
II	167.11ABab	115.34Bb	0.82ABb	56.5BCbc	10.44BCbc	18.49 a
III	167.79Aa	99.58Dd	1.21ABab	73.8Bb	13.98ABb	18.94 a
IV	146.11Cd	86.78Ee	3.07Aa	99.9Aa	18.26Aa	18.29a
波浪冠层群体 Waving-canopy groups	160.76Bc	106.88Cc	1.55ABab	61.5Bb	11.48Bb	18.68a
CK	143.85Cd	105.77Cc	1.63ABab	63.7BCb	11.99BCb	18.83 a

大写字母为0.01显著水平,小写字母为0.05显著水平 Capital letters indicate 0.01 significant level, small letters indicate 0.05 significant level

波浪冠层群体随群体密度增大,其株高增高,分枝数减少,最小密度与最大密度群体均呈极显著差异水

平,株高相差 34.58cm、高矮相差 39.85%,分枝数相差 2.44 个、相差 387.30%。波浪冠层群体和对照相比,平均株高降低 1.11cm、降低 1.05%,分枝数减少 0.08 个、减少 4.91%。

对于经济产量构成的因素单株粒数、单株粒重、百粒重来说,百粒重有差异不显著,波浪冠层群体单株粒数和单株粒重,随密度增大而减小,4 个密度群体之间有差异,Ⅰ和Ⅳ密度群体相比,单株粒数和粒重分别相差 57.2 粒和 10.16g,分别相差 133.96%和 125.43%。波浪冠层群体和对照相比,在平均密度增加 3.0 万株/hm²的前提下,单株粒数和单株粒重又平均分别增加 4.6 粒和 0.71g,分别增加 7.23%和 5.92%,这是该模式增产的根本原因。

3.2 波浪冠层群体对蛋白质、脂肪及脂肪酸的影响

按照品质测定的有关要求,籽粒蛋白质、脂肪和脂肪酸测定结果见表 2。其中,蛋白质和脂肪数值为每 100g 大豆籽粒的含量,脂肪酸含量为脂肪酸占脂肪含量的百分比。

表 2 波浪冠层群体大豆籽粒蛋白质、粗脂肪和脂肪酸的含量
Table 2 Protein, oil and fatty acid content of waving-canopy groups seeds

密度 Density	蛋白质 Protein	脂肪 Oil	棕榈酸 Palmitic	硬脂酸 Stearic	油酸 Oleic	亚油酸 Linoleic	亚麻酸 Linolenic
Ⅰ	39.34ab	19.71c	10.36b	2.63a	29.70a	49.82b	7.05b
Ⅱ	38.94c	19.88bc	10.59a	2.81a	29.09ab	50.92a	7.19ab
Ⅲ	38.95c	20.07b	10.56ab	1.98b	29.49ab	50.96a	7.25a
Ⅳ	39.07bc	20.29a	10.70a	2.38ab	28.80b	51.03a	7.20a
波浪冠层群体 Waving-canopy groups	39.07bc	19.99b	10.55ab	2.45ab	29.27ab	50.68ab	7.17ab
CK	39.62a	19.69c	10.36b	2.64a	29.49ab	49.88b	7.18ab
波浪冠层群体比对照 Compared with check	-1.36%	1.52%	1.83%	-7.20%	-0.76%	1.60%	-0.14%

小写字母为 0.05 显著水平 small letters indicate 0.05 significant level

从表 2 看出,波浪冠层群体平均脂肪含量为 19.99%,比对照提高 1.52%,且差异极显著,平均蛋白质含量为 39.08%,比对照降低 1.36%。这对于高油品质类型大豆鲁豆 9 号来说,在生产上是有积极意义的,因为脂肪与蛋白质负相关,所以油用大豆在确保蛋白质含量降低不大的前提下,其生产目标主要是提高油份含量。按照杨庆凯等研究,脂肪含量每提升 1%,相应蛋白质含量降低 1.5%~1.6%^[9],而实际上仅降低 1.36%,远低于预测值。波浪冠层密度群体间脂肪含量差异显著,随密度减小,其脂肪含量逐渐升高,且均大于 CK。因此,从表面上看,在一定密度范围内,适当稀植可以提高高油大豆品种的油份含量,但实质上是波浪冠层群体结构有利于脂肪的形成和积累,是优质高产栽培模式产生正效应的结果。

大豆脂肪酸主要有 5 种,即棕榈酸(16:0)、硬脂酸(18:0)、油酸(18:1)、亚油酸(18:2)及亚麻酸(18:3)^[10]。从表 2 看出:波浪冠层群体亚油酸含量比对照增加 1.60%,而硬脂酸和亚麻酸含量则比对照分别降低 7.20%和 0.14%。各脂肪酸随密度的变化而变化,差异显著或不显著。棕榈酸和亚油酸,随着密度增大而减小,其他成分变化非规律性。由于波浪冠层群体平均亚油酸含量高于对照,亚麻酸和硬脂酸含量低于对照,故其脂肪酸营养品质优于对照,即该栽培模式利于优质脂肪酸的形成和积累。

3.3 波浪冠层群体对微环境生态因子的影响

3.3.1 对光照强度的影响

光是作物进行光合作用的动力,光照强度反映光合作用动力的大小^[10]。从图 1 看出:大豆光照强度呈单峰变化曲线,鼓粒期达到高峰,此时,波浪冠层群体平均光强高达 1787.58μmol·m⁻²·s⁻¹,比分枝期高 48.4%,以满足鼓粒时对光照动力的最大需求;自分枝到成熟期,波浪冠层群体平均光强均高于对照,增幅为 18.79~125.72μmol·m⁻²·s⁻¹,平均增加 67.68μmol·m⁻²·s⁻¹,增加 5.06%,特别是结荚和鼓粒期,其Ⅱ密度群体光强分别比对照增加 7.16%和 9.72%,差异均达极显著水平,这是波浪冠层群体调节田间光照使其整个群体增产

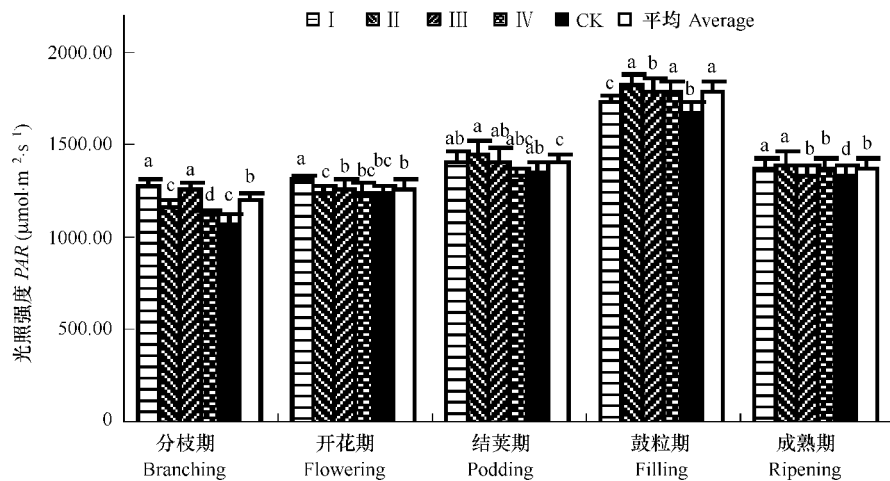
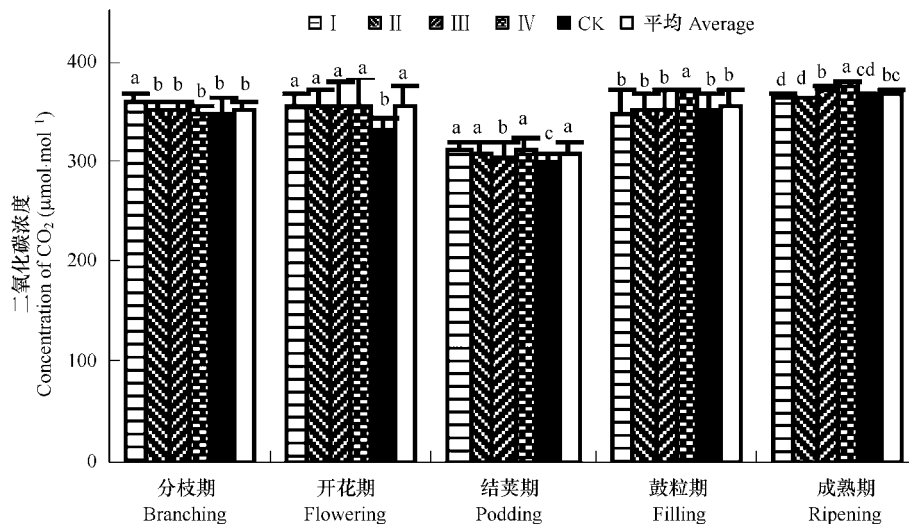


图1 波浪冠层群体在不同生育时期的光照强度

Fig. 1 PAR of waving-canopy groups at different growth stages

图2 波浪冠层群体在不同生育时期的 CO₂ 浓度Fig. 2 CO₂ of waving-canopy groups at different growth stages

的重要因素之一;随生育进程的推进,波浪冠层大密度群体的光照逐渐低于小密度群体。

3.3.2 对二氧化碳浓度的影响

CO₂ 浓度大小与作物光合能力密切相关^[10]。从图2看出,波浪冠层 CO₂ 浓度呈倒单峰曲线变化,成熟期最高为 368.06 μmol·mol⁻¹,比结荚期高 19.45%,用来满足鼓粒代谢旺盛期对 CO₂ 需求;自分枝至成熟期,波浪冠层群体平均 CO₂ 浓度,均高于对照,增幅为 2.49 ~ 24.67 μmol·mol⁻¹,平均增加 8.31 μmol·mol⁻¹,增加 2.45%,尤其是开花期波浪冠层各密度群体 CO₂ 浓度均高于对照,平均增加 7.47%,鼓粒期时 IV 密度群体比对照增加 5.3%,且以上差异均达极显著水平,这也是该模式增产的另一主要因素;不同生育期波浪冠层密度群体 CO₂ 浓度随密度变化各不相同,开花期前,由于尚未封垄,各密度群体 CO₂ 浓度基本一致,封垄后高密度群体 CO₂ 浓度小于低密度群体。

3.3.3 对湿度的影响

湿度直接影响到光合过程^[11]。从图3看出,大豆冠层湿度呈倒双峰变化曲线,结荚期平均湿度最大,为 14.73 mbar,是鼓粒期的 4.66 倍,这可能与近年来黄淮地区多出现秋旱气候有关;自分枝至成熟期,波浪冠层

群体平均湿度均高于对照,增幅为 0.01 ~ 1.09,平均增加 0.33mbar,增高 4.47%,其中结荚期最大为 8.07%,这也是该栽培模式调节田间湿度气候条件,使其增产的另一重要原因;鼓粒期和成熟期波浪冠层群体湿度随密度变化趋势基本一致,即随密度增大湿度减小,开花期则相反,其它 2 个时期的变化没有规律性。

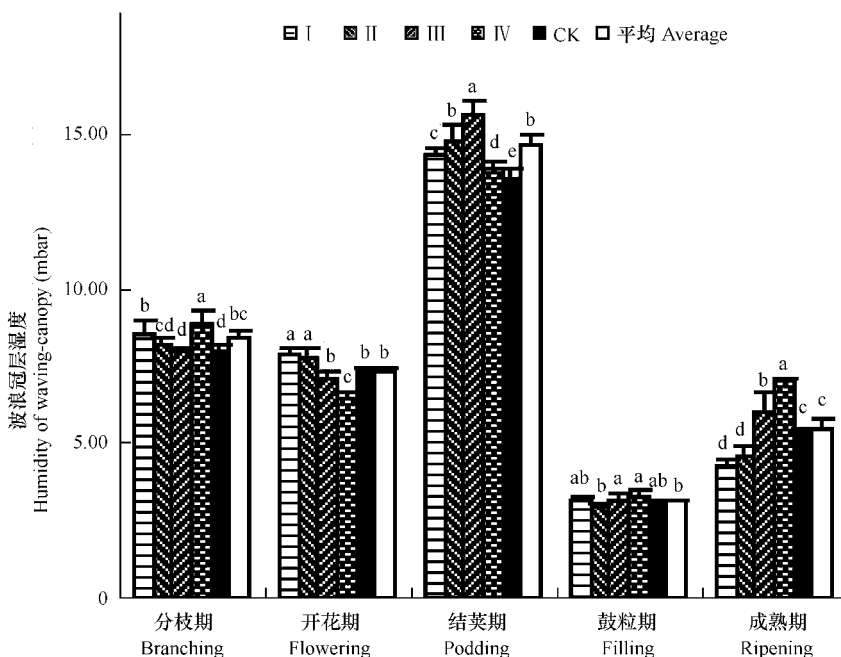


图 3 波浪冠层群体在不同生育时期的湿度

Fig. 3 Humidity of waving-canopy groups at different growth stages

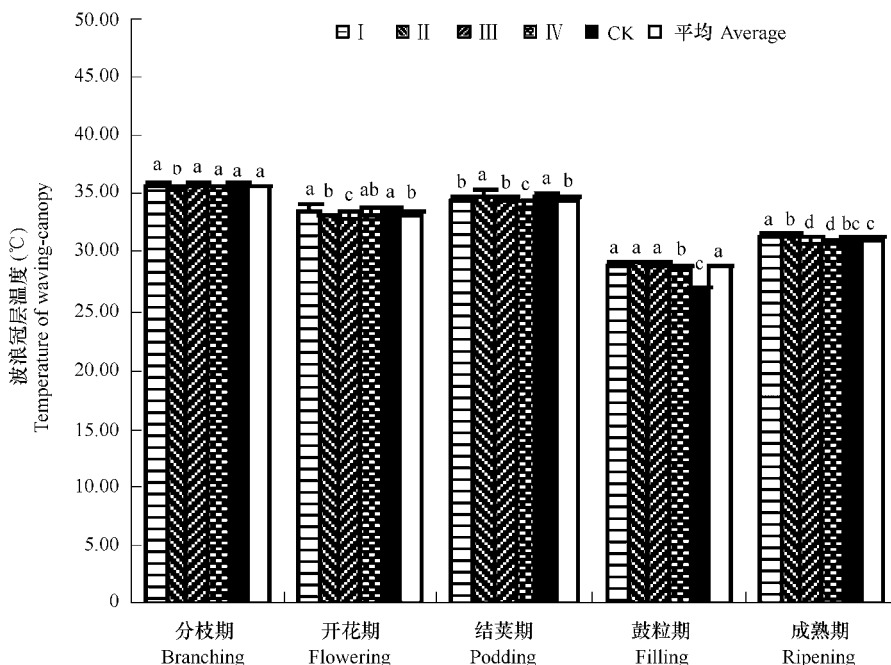


图 4 波浪冠层群体在不同生育时期的温度

Fig. 4 Temperature of waving-canopy groups at different growth stages

3.3.4 对温度的影响

温度常通过水汽压亏缺、气孔导度、蒸腾速率和叶片水势的改变,间接地影响叶片光合作用^[11]。从图 4

看出,大豆波浪冠层群体田间温度变化不明显,分枝期最高,鼓粒期最低,二者平均相差 6.81℃;除鼓粒期温度增加 1.86℃外,其余 4 个时期波浪冠层群体平均温度均低于对照,降低幅度为 0~0.29℃,平均降温 0.17℃,降低 0.51%,因为这 4 个时期温度均高于光合适宜温度,田间小气候的低温更有利于作物光合作用;不同生育期,波浪冠层密度群体间绝对温度差异虽不大,但个别时期差异却达显著水平,这表明该栽培模式能有效地改变作物田间温度气候条件。

4 讨论

4.1 波浪冠层群体与产量

波浪冠层群体密度变化决定产量构成因素的变化。群体由个体组成,但并不是个体的简单相加,个体对群体产生反馈作用的同时又自动调节,包括形态、生理和数量等调节^[10~12]。本试验由于群体密度的变化引起单株粒数和单株粒重增加,最终导致波浪冠层群体产量比对照极显著提高,这和前人的研究结果大致相同^[10~13]。

波浪冠层群体密度与形态性状密切相关。大豆群体种植密度与个体植株性状(株高、根瘤数、根冠比、茎粗、主茎节数、分枝数、结荚高度等)有着密切关系,前人已有系统深入的研究^[11~14]。本试验不同密度群体的株高和分枝数差异极显著、单株粒数和单株粒重差异显著、百粒重差异不显著。

4.2 波浪冠层群体与品质

波浪冠层群体密度与品质关系密切。大豆油分和蛋白质含量是品种遗传特性和环境共同作用的综合表现^[9]。由于波浪冠层合理的群体结构使其内部有良好的通风透光条件,在生育后期维持较高的截光面积,使大豆籽粒得到充足的源流保障,因而有利于脂肪和蛋白质的形成和积累。对于高油大豆鲁豆 9 号,在 12~30 万株/hm²密度范围内的脂肪含量,在 12~24 万株·hm⁻²密度范围的蛋白质含量,均随着密度增大而减小,这说明适当的稀植,有利于大豆脂肪和蛋白质的形成和积累,这和苗保河等研究结果相一致,与宁海龙等结果部分相同,部分不同。但对于同密度而言,其脂肪和蛋白质含量呈负相关,这与前人研究相吻合^[11,15]。

蛋白质、脂肪与脂肪酸各组分间变化具有一定规律性^[11,16]。构成鲁豆 9 号 5 种脂肪酸含量依次为:亚油酸>油酸>棕榈酸>亚麻酸>硬脂酸,符合吕景良等低亚麻酸含量的类型,并与庄无忌等、刘兴媛等和陈霞研究结果相一致^[16~19]。

4.3 波浪冠层群体与微环境生态因子

波浪冠层群体改善了光照强度、CO₂浓度、湿度和温度等微环境生态因子。

Bowes 等、杨文杰等和徐冉等等研究表明,大豆在光饱和点范围内,*P_n* 随光照强度增加而增加^[20~22];唐微等认为,*P_n* 与光照强度的相关系数最大,与相对湿度和叶片温度的相关系数较小^[23];傅金民认为,夏大豆群体内光照自上而下渐弱,*P_n* 随着光强的渐弱而明显下降^[24];胡国华等认为光照增强蛋白含量降低,脂肪含量升高,且高油大豆对光照敏感^[25],与本试验的结果一致。本试验结果是波浪冠层群体改善了大豆群体结构,田间光照强度平均提高 5.06%。光强的增加可以有效地提高整个群体的光合速率和脂肪含量,进而能提高产量改善品质。

研究表明,适当增加 CO₂ 浓度能提高 *P_n*^[26,27];康绍忠等和廖建雄等认为,CO₂ 浓度变化对春小麦生育期、*P_n*、蒸发蒸腾、WUE 等均有较大影响^[28,29];赵天宏等认为 CO₂ 浓度倍增促进大豆叶绿体发育,内含淀粉积累多、体积大、被膜保持完好、基粒片层排列整齐等^[30]。本试验结果表明,波浪冠层群体增加了田间微环境的 CO₂ 浓度,平均增加 2.45%,因而,将更有利于作物的光合和产量的形成。

Boyer 和李永孝等等认为光合速率随田间空气湿度增加而增加^[31,32];张德荣等认为旬平均降水量 30mm、20cm 土壤相对湿度 20% 是大豆鼓粒期的低临界值^[33];Rose 认为鼓粒期干旱脂肪含量上升,与本试验结果相同^[34];马淑英等研究表明,平均相对湿度与硬脂酸、亚麻酸呈显著正相关,与亚油酸呈显著负相关,这与已有的试验结果恰恰相反^[35]。本试验结果波浪冠层群体提高了田间的湿度,平均提高 4.47%,田间湿度增加更有利于作物光合代谢和产量的形成。

杨文杰等认为,大豆初花期光合最适温度为 $25 \sim 30^{\circ}\text{C}$ [21];高辉远等研究表明,光合和呼吸速率对温度反应均呈单峰曲线变化,且光合速率比呼吸速率对温度更敏感, 13°C 和 48°C 左右,分别是它们温度补偿点 [36];张德荣等认为大豆鼓粒期间旬平均温度不得低于 19°C [33];廖建雄等认为温度升高对春小麦生育期、 P_n 、蒸发蒸腾、WUE 有显著影响 [29];Wolf 认为脂肪与温度正相关 [37]。本试验结果波浪冠层群体调节了大豆各生育期田间小环境的温度,鼓粒期低温时增温 1.86°C ,其它各高温生育阶段均降低了温度,平均降温 0.17°C 。田间微生态温度变化更利于大豆产量和品质的形成。

5 结论

波浪冠层的实质就是由于不同密度群体的植株,其单株占据不同空间,使个体得以向纵横方向发展,引起地下和地上植株结构发生变化,植株群体结构的变化又可影响大豆生长的微生态环境,进而调节作物的田间小气候。本试验通过波浪冠层栽培模式栽培措施的实施,有效地调节大豆群体生长发育的微环境生态因子,与对照相比,平均光照增加 5.06% ,二氧化碳浓度增加 2.45% ,空气湿度增加 4.47% ,在大豆低温生育期时平均增温 1.86°C ,高温生育期时平均降温 0.17°C ,这些生态因子的变化更利于大豆物质代谢和能量循环,因而更有利于作物高产的形成和品质的改善。

References:

- [1] Zhang R Z. Typical cultivation of soybean, North East Soybean of China. Harbin: Heilongjiang Scientific & Technical Publishers, 1999.
- [2] Miao B H. New advances in the study on soybean typical cultivation. Soybean Bulletin, 1997, 4: 25—26.
- [3] Yu S L, Miao B H. Task and its potential direction of Chinese crop cultivation science in recent years. Crops, 2006, 3: 1—4.
- [4] Li M Y. Discussion on increasing soybean yield by waving-canopy. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 1981, 2: 47—50.
- [5] Chang Y Z, Dong L H, Du W G. Study on wave-like canopy cultivation of soybean. Soybean Sci, 1985, 5(4): 341—347.
- [6] Miao B H, Liu B, Li X D. Effect of Waving-canopy Cultural Type on Yield and Character in High Oil Soybean. Soybean Sci, 2008.
- [7] Miao B H, Liu B, Li X D. Effect of Waving - canopy Cultural Type on Active Oxygen metabolism and Membrane Lipid Peroxidation of High Oil Soybean Leaves. Journal of Plant Ecology 2008, 32(3): 673—689.
- [8] Zheng Y L, Li X H. Nutrition analysis technology of soybean. Haerbin: Heilongjiang Scientific & Technical Publishers, 1991.
- [9] Yang Q K, Ning H L. From the national soybean standard look the development trend oil uses of soybean. Soybean Bulletin, 2002, (2): 24.
- [10] Dong Z. Yield Physiology of Soybean. Beijing: China Agricultural Publishers, 2000.
- [11] Dong Z. Cultural Physiology of Soybean. Beijing: China Agricultural Publishers, 1997.
- [12] Cooper R L, Fausey N R, Streeter J G. Yield potential of soybean grown under a sub-irrigation/drainage water management system. Agronomy Journal, 1991, 83(5): 884—887.
- [13] Jin J, Liu X B, Wang G H. Some eco-physiological characteristics at R_t-R_s stage in relation to soybean yield differing in maturities. Scientia Agriculture Sinica, 2004, 37(9): 1293—1300.
- [14] Zhang J X, Zhai Y L, Xue L H, et al. Effect of plant density on growth tendency, dry matter accumulation and distribution in high yield spring soybean. Soybean Science, 2006, 25(1): 1—5.
- [15] Miao B H, Zhang W S, Li Z G. Effect of cultural factors on yield and physiological characters of oil soybean. Soybean Science, 2004, 23(4): 307—310.
- [16] Li J L, Shao Y C, Wu B L. Studies on the fatty acid composition of soybean germplasm resources in northeast China. Acta Agronomica Sinica, 1990, 16(4): 349—355.
- [17] Zhuang W J, Han H Q, Xie F M. Composition of fatty acid in cultivated semi-cultivated and wild soybean. Soybean Science, 1984, 3(3): 223—230.
- [18] Liu X Y, Hu C P, Ji Y L. Studies on the fatty acid composition of soybean germplasm resources in China. Seeds, 1998, (2): 40—42.
- [19] Chen X. Test of content of fat and fatty acid and correlatine analysis among them of the main cultivars of soybean in Heilongjiang Province. Soybean Science, 1996, 15(1): 91—95.
- [20] Bowes G, Ogren W L, Hageman R H. Light saturation, photosynthesis rate, RuDP carboxylase activity and specific leaf weight in soybean grown under different light intensity. Crop Sciences, 1972, 3: 493—496.
- [21] Yang W J, Miao Y N. Comparative studies of photosynthetic characters of wild and cultivated soybeans. Soybean Science, 1983, 2(2): 83—91.
- [22] Xu R, Chen C L, Shao L, et al. Relationship between Photosynthetic Rate and Light Intensity in Summer Soybean. Acta Ecologica Sinica, 2005. 31

(8):1080—1085.

- [23] Tang W, Zhu M A, Deng Z M. The daily changes of photosynthetic rate of soybean and its relation to ecological factors. *Journal of Hubei Agricultural Science*, 2002, 3:25—26.
- [24] Fu J M. Study on the photosynthetic characters of summer soybean canopy. *Soybean Science*, 1994, 13(1):16—21.
- [25] Hu G H, Ning H L, Wang H D, *et al* Effect of photo-intensity on quality and yield of soybeans. *Chinese Journal of Oil Crop Sciences*, 2004, 26(2): 86—88.
- [26] Hardy R, *et al*. Fixation of nitrogen in solution in the presence of transition metal complexes. In: L. Reinheld and Y. lieschitz, eds. *Progress in Photochemistry*. Wiley London, 1968. 407—489.
- [27] Xu D Q, Li D Y, Qiu G X, *et al*. Study on stomatal limitation of photosynthesis in the bamboo (*Phyllostachys pubescens*) leaves. *Acta Phytophysiological Sinica*, 1987, 13(2):154—160.
- [28] Kang S Z, Cai H J, Liang Y L, *et al*. Experimental research on effects of the atmospheric CO₂ concentration increase on the canopy temperature, evapotranspiration and soil moisture distribution in root zone of spring wheat. *Acta Ecologica Sinica*, 1997, 17(4):412—417.
- [29] Liao J X, Wang Y X. Effects of drought, CO₂ concentration and temperature increasing on photosynthesis rate, evapotranspiration, and water use efficiency of spring wheat. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2002, 13(5):547—550.
- [30] Zhao T H, Shi Y, Huang G H. Effect of doubled CO₂ and O₃ concentration and their interactions on ultrastructure of soybean chloroplast. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2003, 14(12):2229—2232.
- [31] Boyer J S. Differing sensitivity of photosynthesis to low water potential in corn and soybean. *Plant Physiol*, 1970, 46:236—239.
- [32] Li Y X, Ding F W, Li P T, *et al*. Relationship between photosynthetic rate of summer soybean and leaf age amount of water and fertilizer supply. *Soybean Science*, 1992, 11(1):36—42.
- [33] Zhang D Y, Wang G Q, Guo F S, *et al*. Soybean seed filling and relationships with agro meteorological condition. *Soybean Science*, 1993, 12(1):8—14.
- [34] Rose I A. Effects of moisture stress on the oil and protein 91—95 components of soybean seeds. *Aust. J. Agric. Res.*, 1988, (39):163—170.
- [35] Ma S Y, Liang Q. The Formation of Fatty Acid of Extra early Soybean and Correlation With Meteorological Element. *Scientia Agriculture Sinica*, 1999, 32:69—761.
- [36] Gao H Y, Zou Q, Chen B S, *et al*. The response of soybean leaves' photosynthetic and breath rate to temperature. *Chinese Journal of Oil Crop Sciences*. 1992, 14(3):62—63.
- [37] Wolf R B. Effect of temperature on soybean seed constitutes: oil, protein, moisture, fatty acids, amino acids sugars. *Am. Oil Chem. Sic*, 1982, 59(50):230—232.

参考文献:

- [2] 苗保河. 大豆高产栽培模式的研究进展. *大豆通报*, 1997, (4):25—26.
- [5] 常耀中, 董丽华, 杜维广, 等. 大豆波浪冠层栽培法研究. *大豆科学*, 1985, 5(4):341—347.
- [10] 董钻, 主编. 大豆栽培生理. 北京: 中国农业出版社, 1997.
- [13] 金剑, 刘晓冰, 王光华. 不同熟期大豆 R4—R5 期冠层某些生理生态形状与产量的关系. *中国农业科学*, 2004, 37(9):1293—1300.
- [15] 苗保河, 张为社, 李战国. 栽培因子对高油大豆产量及其生理指标的影响. *大豆科学*, 2004, 23(4):307—310.
- [19] 陈霞. 黑龙江主栽大豆品种脂肪酸组分的测定及其相关分析. *大豆科学*, 1996, 15(1):91—95.
- [25] 胡国华, 宁海龙, 王寒冬, 等. 光照强度对大豆产量及品质的影响 I. 全生育期光照强度变化对大豆脂肪和蛋白质含量的影响. *中国油料作物学报*, 2004, 26(2):86—88.
- [33] 赵天宏, 史奕, 黄国宏. CO₂ 和 O₃ 浓度倍增及其交互作用对大豆叶绿体超微结构的影响. *应用生态学报*, 2003, 14(12):2229—2232.
- [36] 高辉远, 邹琦, 程炳嵩. 大豆叶片光合速率和呼吸速率对温度的响应. *中国油料作物学报*, 1992, 14(3):62—63.