

化学
调控

密度与棉太金化控对小麦后直播棉成铃及相关生理活性的影响

刘媛媛, 林远, 刘晓飞, 蔡泽洲, 陈媛, 张祥*, 陈德华*

(扬州大学江苏省作物遗传生理国家重点实验室培育点, 江苏 扬州 225009)

摘要:【目的】研究密度、棉太金(质量分数 27.5% 胺鲜·甲哌磺)化控对小麦后直播棉功能叶生理特征、成铃特征的影响。【方法】研究于 2011—2012 年在扬州大学进行,以特早熟品种国欣早 11-1 为材料,小麦收获后直播种植。以密度和棉太金化控为试验因素,采用随机区组设计。【结果】当密度为 $10.5 \text{ 万株} \cdot \text{hm}^{-2}$ 、棉太金用量为 $1\ 170 \text{ mL} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时,群体成铃最多,且 8 月 31 日前成铃数也高。回归分析进一步表明,7 月 15 日、7 月 30 日、8 月 15 日棉株功能叶的 SPAD 值、可溶性糖含量、可溶性蛋白含量、游离氨基酸含量与 8 月 31 日的成铃数呈显著或极显著的开口向下抛物线关系。表明棉株叶片保持适宜的碳氮生理活性有利于优质桃的形成。【结论】长江流域小麦后直播棉采用高密度($10.5 \text{ 万株} \cdot \text{hm}^{-2}$)种植并结合棉太金化控($1\ 170 \text{ mL} \cdot \text{hm}^{-2}$),有利于形成优质铃,且叶片碳氮生理活性适宜。

关键词: 小麦后直播棉; 种植密度; 棉太金; 生理活性

Effects of Density and Miantaijin Chemical Control on Boll Characteristics and Physiological Activity of Direct-Seeded Cotton after Wheat Harvest

Liu Yuanyuan, Lin Yuan, Liu Xiaofei, Cai Zezhou, Chen Yuan, Zhang Xiang*, Chen Dehua*

(Key Laboratory of Crop Genetics and Physiology of Jiangsu Province, Yangzhou University, Yangzhou, Jiangsu 225009, China)

Abstract: [Objective] The aim of this research is to study the effects of planting density and Miantaijin (diethyl aminoethyl hexanoate · mepiquat chloride of mass fraction 27.5%) chemical control on physiological leaf characteristics and boll setting characteristics of direct-seeded cotton after wheat harvest. [Method] In 2011—2012, the early-maturing variety Guoxinza 11-1 was used as the experimental material. The study was conducted in Yangzhou University in 2011—2012 under the direct-seeded after wheat harvest cropping system, and the randomized complete block design was arranged with planting densities and Miantaijin rates. [Result] Under the density $105\ 000 \text{ plant} \cdot \text{hm}^{-2}$ combined with $1\ 170 \text{ mL} \cdot \text{hm}^{-2}$ Miantaijin, the boll setting was mainly concentrated before August 31. The SPAD value, soluble sugar content, soluble protein content, free amino acid content on July 15, July 30, August 15 of direct-seeded cotton after wheat harvest showed significant or extremely significant open-down parabola relationship with the number of bolls before August 31. It indicates that keeping the appropriate level of carbon and nitrogen physiological activity in cotton leaves is beneficial to high-quality bolls. [Conclusion] High density ($105\ 000 \text{ plant} \cdot \text{hm}^{-2}$) combined with proper Miantaijin control ($1\ 170 \text{ mL} \cdot \text{hm}^{-2}$) would contribute to forming quality bolls of direct-seeded cotton after wheat harvest, and the physiological activities of leaf carbon and nitrogen are suitable.

Keywords: direct-seeded cotton after wheat harvest; planting density; Miantaijin; physiological activity

棉花是我国重要的经济作物,是除粮食作物之外重要的农产品和战略物资来源^[1-4],对保障以棉花为主要原料的纺织工业健康持续发展意义

重大^[5-6]。国家提出了 1.2 亿 hm^2 耕地的红线不动摇、确保粮食供应的要求,因此现阶段增加棉花总产只能通过增加单产而非增加面积来实现。尤

收稿日期:2019-06-27

第一作者简介:刘媛媛(1995—),女,硕士研究生,1336386143@qq.com。* 通信作者:张祥, zhangxiang@yzu.edu.cn;陈德华, cdh@yzu.edu.cn

基金项目:国家重点研发计划(2017YFD0201306);江苏省博士后基金(1601116C);江苏省高校优势学科建设工程;江苏高校品牌专业建设工程(PPZY2015A060);江苏省高等学校自然科学研究重大项目(17KJA210003)

其在实行一年两熟制的长江流域,只能在满足粮食生产的前提下种植棉花,采用麦后或者油后移栽棉及小麦后早熟直播棉可以缓解粮棉争地矛盾,但由于移栽棉很难实现机播及机械化采收^[7-8];而应用小麦后直播棉种植方式更容易进行机播机收,实现植棉的轻简化^[9-12],但其配套栽培技术还很不成熟。

密度、化学生长调节剂是调节棉花生长发育的 2 个关键因素。适宜密度和化控措施有利于增加小麦后直播棉的产量^[13-14]。已有研究表明,长江中下游地区密度在 6 万株·hm⁻² 以上可提高小麦后直播棉产量,密度和缩节胺配套应用能促进光合产物向棉铃输送,有利于集中成铃^[15-16]。棉太金(质量分数 27.5%胺鲜·甲哌噻)是由中国农业大学等单位共同研发的 1 种新型棉花化学调节剂,不仅能解决棉花中期旺长、后期早衰的问题,还能促进前期弱苗的生长,且它对株型的调控效果比缩节胺更好^[17-21]。适宜的密度结合棉太金化控可显著提高小麦后直播棉的籽棉产量^[22],但对其成铃特征与生理活性的影响还未见详细报道。本试验设置不同密度及棉太金用量,研究其对棉花生长发育的影响,从而明确适宜长江流域的密度、棉太金用量及其生理机制,为本区域棉花轻简化栽培提供技术指导。

1 材料与方法

1.1 试验设计

于 2011—2012 年在扬州大学农学院试验田进行,采用小麦后直播方式播种,供试品种为国欣农研会选育的短季棉品种国欣早 11-1,试验设置密度和棉太金用量 2 个因素,密度设 7.5 万、9.0 万、10.5 万株·hm⁻² 3 个水平,分别以 D1、D2、D3 表示;棉太金处理设 0、1 170、2 340 mL·hm⁻² 3 个水平,分别以 CK、T1、T2 表示,苗期(06-08)、盛蕾期(07-24)、盛花期(08-15)、盛铃期(08-30)施用比例为 1:2:4:6。具体试验设计见参考文献[22]。

1.2 调查与测定项目和方法

1.2.1 成铃特性。于 7 月 30 日、8 月 15 日、8 月 30 日、9 月 20 日、10 月 5 日进行田间调查,记录成铃数。

1.2.2 SPAD 值。于 7 月 15 日、7 月 30 日、8 月 15 日、9 月 20 日用 SPAD-502 叶绿素含量测定

仪测定。

1.2.3 棉株功能叶生理指标。于 7 月 7 日、7 月 15 日、7 月 30 日、8 月 15 日、9 月 20 日分别取棉株功能叶(打顶之前为倒 4 叶,打顶之后为倒 3 叶)3~5 片,用液氮速冻,备用。

可溶性总糖含量:用蒽酮比色法测定,方法参见文献[23]。

可溶性蛋白含量:用考马斯亮蓝 G-250 法测定,方法参见文献[23]。

游离氨基酸总量:测定方法参见文献[24]。

1.3 数据处理与统计方法分析

数据用 SPSS 17.0 进行处理,用 MS Excel 2003 作图。

2 结果与分析

2.1 密度、棉太金化控对成铃特性的影响

2 年密度与棉太金化控试验结果相似,随着小麦后直播棉生育进程的推进,群体成铃数均呈逐步增加趋势(表 1)。不同处理间相比,D3T1、D3T2 8 月 31 日成铃数高,如 2011 年 D3T1、D3T2 的 8 月 31 日成铃数分别达 72.1 万、75.4 万个·hm⁻²,显著高于其他处理。7 月 20 日—8 月 31 日是长江流域优质桃(伏桃和早秋桃)形成期。因此,高密度配合适量棉太金化控有利于小麦后直播棉铃数的增加,特别是优质铃的增加。

2.2 密度和棉太金化控对功能叶生理特征的影响

2.2.1 对 SPAD 值的影响及 SPAD 值对成铃数的影响。表 2 表明,7 月 15 日以后,随着生育进程的推进,各处理的叶片 SPAD 值均表现为逐渐上升的趋势。进一步分析表明,不同棉太金处理间表现为 T2>T1>CK,说明棉太金有利于提高 SPAD 值。但方差分析表明,不同密度之间叶片 SPAD 值无显著差异。

由图 1 可见,7 月 15 日、7 月 30 日、8 月 15 日的 SPAD 值与 8 月 31 日的成铃数均表现为开口向下的抛物线关系,且达到极显著水平。说明 8 月 15 日前保持适宜的叶绿素含量有利于优质桃(伏桃、早秋桃)的形成。这可能与适宜的叶绿素含量有利于棉株保持碳氮平衡有关^[25]。

2.2.2 对可溶性糖含量的影响及可溶性糖含量

表 1 密度和棉太金化控对群体(公顷)成铃的影响(2011—2012 年)

Table 1 Effect of density and Miantaijin chemical control on boll-setting number per hectare (2011—2012)

10⁴

年份 Year	处理 Treatment	调查日期 Survey date			
		07-30	08-15	08-31	09-20
2011	D1CK	1.8 d	11.3 c	41.3 d	70.5 e
	D1T1	2.8 bc	11.2 cd	57.5 b	76.5 de
	D1T2	2.5 c	20.6 a	55.2 b	73.8 de
	D2CK	1.1 e	6.5 f	45.7 c	77.4 d
	D2T1	3.2 ab	8.2 e	57.2 b	89.7 bc
	D2T2	3.7 a	13.6 bc	58.1 b	84.0 c
	D3CK	0.0 f	6.3 f	59.2 b	92.1 ab
	D3T1	1.1 e	7.9 ef	72.1 a	95.9 a
	D3T2	1.9 d	9.6 de	75.4 a	92.7 ab
2012	D1CK	2.0 c	10.5 c	46.9 c	64.1 c
	D1T1	3.8 a	21.4 a	58.5 ab	77.6 b
	D1T2	3.0 b	12.7 bc	56.3 b	71.4 b
	D2CK	0.5 e	7.4 d	49.1 c	63.9 c
	D2T1	4.1 a	15.0 b	58.0 ab	72.5 b
	D2T2	2.8 b	11.7 c	54.5 b	67.1 c
	D3CK	0.0 e	5.8 d	53.6 b	66.2 c
	D3T1	1.7 c	15.8 b	66.2 a	88.7 a
	D3T2	1.1 d	11.6 c	64.6 a	74.7 b

注:同列数值后字母不同表示差异显著 ($P<0.05$)。Note: Values within a column followed by different letters are significantly different at the 0.05 probability level ($P<0.05$).

表 2 密度和棉太金化控对小麦后直播棉 SPAD 值的影响(2012 年)

Table 2 Effect of density and Miantaijin chemical control on SPAD value of direct-seeded cotton after wheat harvest (2012)

处理 Treatment	取样日期 Sampling date			
	07-15	07-30	08-15	09-20
D1CK	43.90 b	44.31 d	45.49 c	52.93 e
D1T1	52.80 a	56.65 bc	58.40 b	62.89 d
D1T2	54.35 a	58.47 ab	62.53 a	68.80 a
D2CK	43.45 b	44.23 d	44.68 c	52.54 e
D2T1	53.27 a	56.83 bc	57.84 b	64.16 bcd
D2T2	54.75 a	59.67 a	62.43 a	67.03 ab
D3CK	44.18 b	43.78 d	46.51 c	52.60 e
D3T1	52.77 a	56.08 c	58.93 ab	63.72 cd
D3T2	54.86 a	58.81 ab	61.59 ab	65.83 bc

注:同列数值后字母不同表示差异显著 ($P<0.05$)。Note: Values within a column followed by different letters are significantly different at the 0.05 probability level ($P<0.05$).

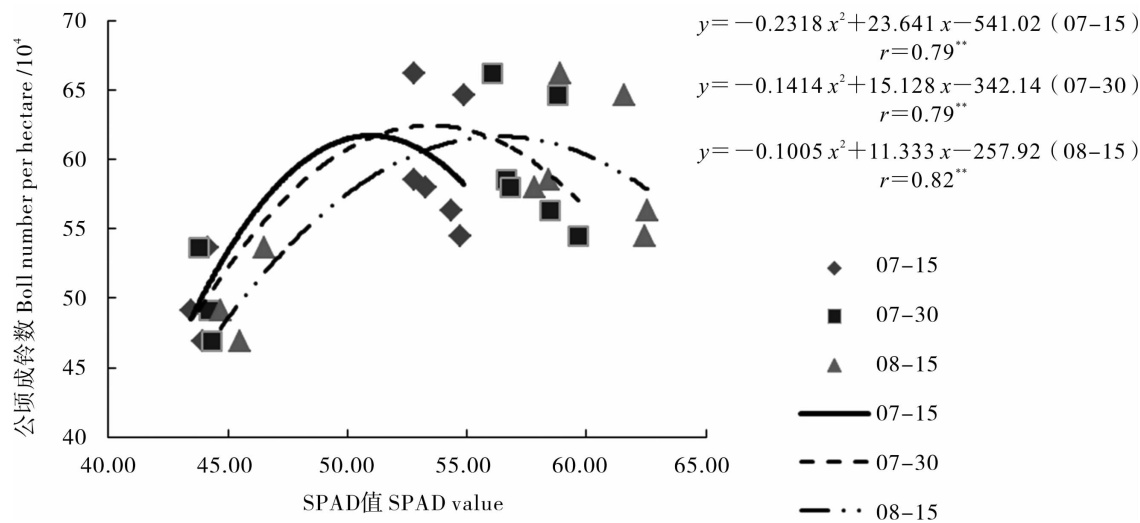


图 1 不同时期测定的棉株功能叶 SPAD 值与 8 月 31 日成铃数关系

Fig.1 The relationship between SPAD value of cotton plant functional leaves determined at different times and boll number on August 31

对成铃数的影响。表 3 表明,随着生育进程的推进,各处理叶片可溶性糖含量均表现为先上升后下降再上升的趋势,均在 7 月 15 日达到最大值。不同处理间相比,D3T2、D2T2、D1T2 较高。多重比较进一步表明,不同棉太金处理间表现为 T2>T1>CK,说明棉太金化控有利于增加叶片中可溶性糖含量。不同密度间叶片可溶性糖含量无显著差异。

图 2 表明,7 月 15 日、7 月 30 日功能叶可溶性糖含量与 8 月 31 日的成铃数呈显著或极显著

开口向下的抛物线关系。可见,8 月 15 日前棉株叶片保持适宜的可溶性糖含量有利于优质桃的形成。

2.2.3 对可溶性蛋白含量的影响及可溶性蛋白含量对成铃数的影响。表 4 表明,随生育进程的推进,各处理叶片可溶性蛋白含量的变化趋势与可溶性糖含量变化类似,均在 7 月 30 日达到最大值。不同棉太金处理间表现为 T2>T1>CK,说明棉太金处理有助于提高其可溶性蛋白含量。方差分析表明,不同密度间叶片中可溶性蛋白含量无显著差异。

表 3 密度和棉太金化控对棉叶可溶性糖含量的影响(2012 年)

Table 3 Effect of density and Miantaijin chemical control on soluble sugar content in cotton leaves (2012)

处理 Treatment	取样日期 Sampling date				
	07-07	07-15	07-30	08-15	09-20
D1CK	25.6 c	45.1 c	38.4 c	29.4 c	32.8 c
D1T1	28.6 b	51.2 bc	46.4 b	35.2 b	46.5 b
D1T2	37.9 a	60.4 a	51.6 a	40.3 a	54.3 a
D2CK	23.3 c	48.8 c	40.6 c	31.8 c	34.2 c
D2T1	29.6 b	54.6 bc	47.2 b	33.6 bc	47.2 b
D2T2	33.1 ab	58.9 abc	54.2 a	43.5 a	50.4 ab
D3CK	22.9 c	47.6 c	42.7 c	27.9 c	35.2 c
D3T1	28.7 b	53.7 bc	49.6 ab	34.9 b	44.2 b
D3T2	34.6 ab	60.4 a	52.4 a	41.8 a	56.8 a

注:同列数值后不同字母表示差异显著(P<0.05)。
Note: Values within a column followed by different letters are significantly different at the 0.05 probability level (P<0.05).

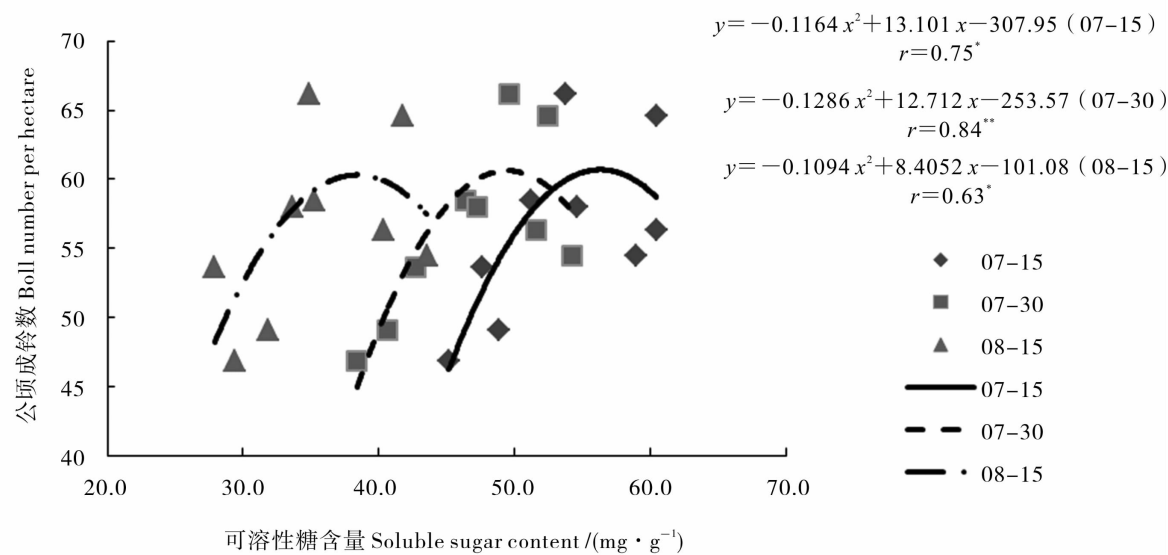


图 2 不同时期测定的棉株功能叶可溶性糖含量与 8 月 31 日成铃数关系

Fig.2 The relationship between soluble sugar content of cotton plant functional leaves determined at different times and boll number on August 31

表 4 密度和棉太金化控对棉叶可溶性蛋白含量的影响(2012 年)

处理 Treatment	取样日期 Sampling date				
	07-07	07-15	07-30	08-15	09-20
D1CK	3.8 c	6.2 c	6.5 c	3.6 c	4.0 d
D1T1	4.5 b	7.5 ab	8.0 b	4.0 bc	6.1 abc
D1T2	5.1 a	7.9 a	8.7 a	5.3 a	6.5 a
D2CK	3.9 c	6.3 c	6.8 c	3.1 c	4.2 d
D2T1	4.8 ab	7.1 b	7.9 b	4.5 b	5.8 c
D2T2	5.0 a	8.2 a	9.1 a	5.0 a	6.7 a
D3CK	4.2 b	6.0 c	6.9 c	3.8 c	4.1 d
D3T1	4.3 b	7.6 ab	7.8 b	4.4 b	6.2 abc
D3T2	5.3 a	7.8 a	8.4 ab	5.1 a	5.9 bc

注:同列数值后不同字母表示差异显著($P<0.05$)。
Note: Values within a column followed by different letters are significantly different at the 0.05 probability level ($P<0.05$).

图 3 结果进一步表明,8 月 15 日前功能叶中可溶性蛋白含量与 8 月 31 日的成铃数呈开口向下的抛物线关系,且达到显著或极显著水平。说明棉株功能叶中保持适宜的可溶性蛋白含量同样有利于棉株优质铃的形成。

2.2.4 对游离氨基酸含量的影响及游离氨基酸含量对成铃数的影响。表 5 表明,随生育进程的推进,其主茎功能叶片中游离氨基酸呈先增加

后下降再上升趋势,且 7 月 7 日至 7 月 30 日表现出快速增加的特征,并于 7 月 30 日达到最大值。

图 4 进一步表明,8 月 15 日前游离氨基酸含量与 8 月 31 日前的成铃数呈显著开口向下的抛物线关系,且达到显著或极显著水平,说明保持棉株叶片适宜的游离氨基酸含量,有利于优质桃的形成。

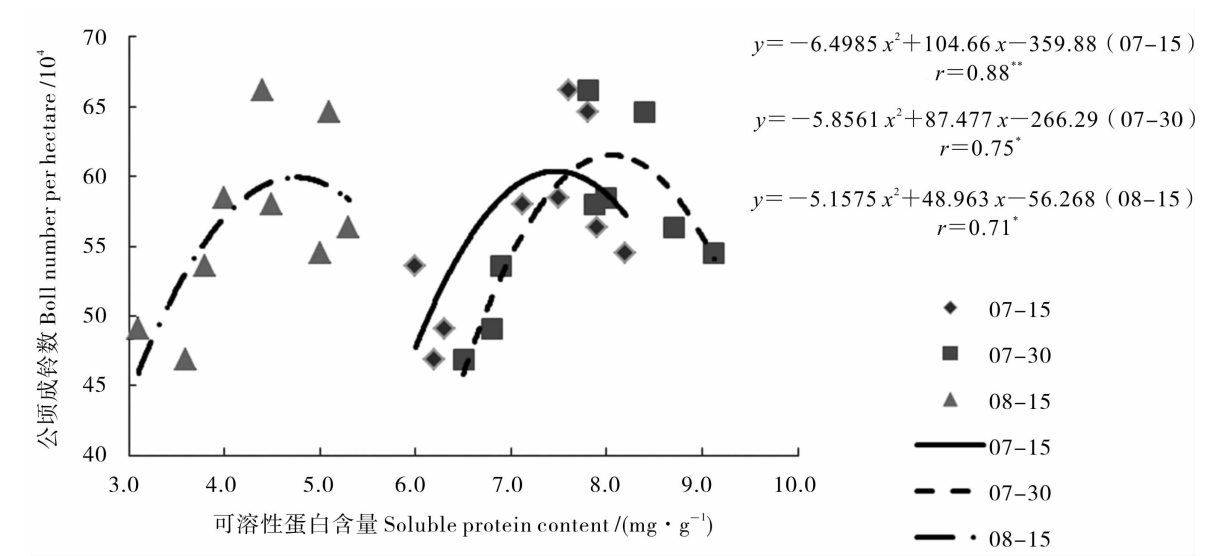


图 3 不同时期测定的棉株功能叶可溶性蛋白含量与 8 月 31 日成铃数关系

Fig.3 The relationship between soluble protein content of cotton plant functional leaves determined at different times and boll number on August 31

表 5 密度和棉太金化控对棉叶游离氨基酸含量的影响(2012 年)

Table 5 Effect of density and Miantaijin chemical control on free amino acid content in cotton leaves (2012)

处理 Treatment	取样日期 Sampling date				
	07-07	07-15	07-30	08-15	09-20
D1CK	0.29 c	0.38 c	0.50 c	0.35 c	0.40 de
D1T1	0.38 b	0.52 b	0.67 b	0.44 b	0.50 bc
D1T2	0.43 a	0.59 a	0.81 a	0.49 a	0.56 a
D2CK	0.31 bc	0.42 c	0.46 c	0.33 c	0.42 d
D2T1	0.41 a	0.50 b	0.61 bc	0.42 b	0.48 c
D2T2	0.42 a	0.56 ab	0.79 a	0.48 a	0.53 ab
D3CK	0.33 bc	0.41 c	0.45 c	0.37 c	0.38 e
D3T1	0.43 a	0.49 bc	0.59 bc	0.43 b	0.51 b
D3T2	0.45 a	0.61 a	0.76 ab	0.46 a	0.57 a

注:同列数值后不同字母表示差异显著 ($P<0.05$)。

Note: Values within a column followed by different letters are significantly different at the 0.05 probability level ($P<0.05$).

综上所述,密度和棉太金化控可显著调节小麦后直播棉群体碳氮代谢水平,保持叶片适宜的碳氮代谢强度有利于群体成铃,特别是优质桃的形成,进而为实现集中成铃和高产优质奠定基础。

3 讨论

密度和化控是棉花种植中重要的调节手段。对于传统的育苗移栽棉,一般常规品种种植密度

为 3.0 万~3.75 万株·hm⁻²,生育过程中进行 4~5 次缩节胺化控,即通过低密度和缩节胺的协调应用实现棉花高产。但由于其成铃期长,吐絮期相应持续较长时间,达 75 d 左右,需要多次采收^[9],这已不适应现代农业发展对管理技术轻简化的要求。对适于轻简化要求的小麦后直播棉通过高密度和棉太金化控的协同应用研究表明,虽播期大幅度推迟,但通过高密度配合棉太金应用同样能实现高产^[13,17-18]。进一步研究表明,密度为

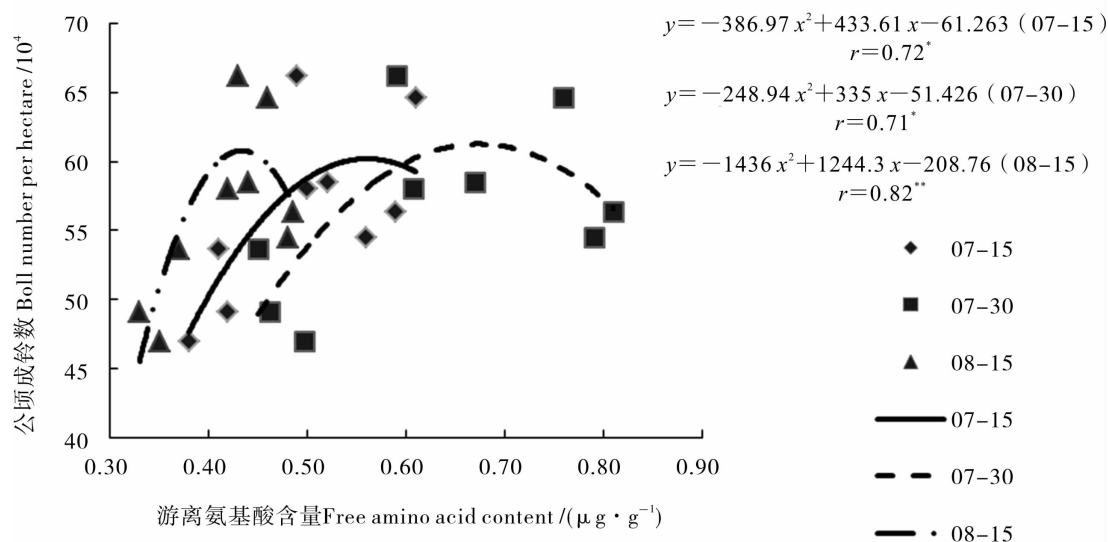


图4 不同时间测定的棉株功能叶游离氨基酸含量与8月31日成铃数关系

Fig.4 The relationship between free amino acid content of cotton plant functional leaves determined at different times and boll number on August 31

10.5 万株 $\cdot\text{hm}^{-2}$ 、棉太金用量为 1 170 mL $\cdot\text{hm}^{-2}$ 时,群体成铃主要集中在 8 月 31 日前。而该时段温度、光照最有利于棉铃发育和纤维品质形成^[26]。因此,通过高密度配合棉太金化控不但能实现长江流域小麦直播棉高产^[17],而且可为集中吐絮、一次性人工采收或机械化采收,以及实现优质高产奠定基础。

碳、氮生理代谢决定着棉花产量和品质的形成。已有研究表明,棉花碳、氮代谢的强度及协调程度都可明显调节棉花产量及其构成^[27]。而密度和化控作为重要的调控技术,对棉花的碳、氮代谢生理均有明显的调节作用^[28]。本研究显示,小麦后直播棉关键生育过程中,棉株功能叶碳代谢生理指标(SPAD 值、可溶性糖含量)、氮代谢生理指标(可溶性蛋白含量、游离氨基酸含量)与 8 月 31 日的成铃数都呈显著或极显著的开口向下抛物线关系,表明将小麦后直播棉植株关键生育期叶片碳、氮代谢生理活性保持在适宜的范围有利于优质桃(伏桃、早秋桃)的形成。且密度为 10.5 万株 $\cdot\text{hm}^{-2}$ 条件下,结合 1 170 mL $\cdot\text{hm}^{-2}$ 棉太金化控可实现该目标。这与已有研究结果表明的碳、氮代谢强度是品种自身特性、生态条件和栽培技术措施等多种因素共同作用的结果相似^[28-30]。生长后期棉叶中糖及含氮化合物含量的上升,显然与成铃减少,对叶片碳氮养分需求减少有关。因此,小麦后直播棉种植方式下,高密度和化控技术的

协同应用,有利于棉株碳氮代谢生理水平保持在适宜范围内,实现碳氮代谢平衡,促进棉铃特别是优质桃的形成。

4 结论

在植棉密度 10.5 万株 $\cdot\text{hm}^{-2}$ 、1 170 mL $\cdot\text{hm}^{-2}$ 棉太金化控条件下,小麦后直播棉碳、氮代谢水平适宜,成铃数多,特别是优质桃多,可为集中吐絮和机械化采收奠定基础。

参考文献:

- [1] 杨红旗. 我国棉花生产现状与发展前景分析[J]. 种子科技, 2010(2): 5-7.
Yang Hongqi. Analysis on current situation and development prospect of cotton production in China[J]. Seed Technology, 2010(2): 5-7.
- [2] 张淑荣, 魏秀芬. 我国棉花产业安全状况评价[J]. 农业技术经济, 2011(2): 93-95.
Zhang Shurong, Wei Xiufen. Evaluation of the safety status of cotton industry of China[J]. Agricultural Technology Economy, 2011(2): 93-95.
- [3] 王延琴, 杨伟华, 许红霞, 等. 我国棉花生产成本与收益调查及分析[J]. 中国棉花, 2010, 37(11): 8-9.
Wang Yanqin, Yang Weihua, Xu Hongxia, et al. Investigation and analysis of cotton production cost and income of China[J]. China Cotton, 2010, 37 (11): 8-9.

- [4] 毛树春. 中国棉花生产景气报告[M]. 北京: 中国农业出版社, 2009: 4-6.
- Mao Shuchun. China cotton production climate report [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2009: 4-6.
- [5] 张晓玲, 刘康, 蔡玉梅. 坚守 18 亿亩耕地红线不动摇[J]. 求是, 2009(21): 43-45.
- Zhang Xiaoling, Liu Kang, Cai Yumei. Stick to the red line of 1.8 billion mu of cultivated land without wavering [J]. Seeking, 2009(21): 43-45.
- [6] 高伟, 张西岭. 长江流域棉花生产现状及“十三五”发展建议[J]. 中国棉花, 2016, 43(1): 3-7.
- Gao Wei, Zhang Xiling. Current situation of cotton production and suggestions on development of cotton industry for the 13th Five-Year Plan in Yangtze River Region [J]. China Cotton, 2016, 43(1): 3-7.
- [7] 杨长琴, 周治国, 陈德华, 等. 长江流域棉区麦(油)棉两熟种植的棉花增密减肥轻简高效技术[J]. 中国棉花, 2018, 45(10): 1-4.
- Yang Changqin, Zhou Zhiguo, Chen Dehua, et al. Light-simplified and high efficient cultivation technologies of cotton with increased planting density and reduced fertilizer application for wheat/rape-cotton cropping system in the Yangtze Valley[J]. China Cotton, 2018, 45(10): 1-4.
- [8] 刘瑞显, 周治国, 陈德华, 等. 长江流域棉区棉花“三集中”的轻简高效理论与栽培途径[J]. 中国棉花, 2018, 45(9): 11-12, 17.
- Liu Ruixian, Zhou Zhiguo, Chen Dehua, et al. Theory of "Sanjizhong" and technology on simple and efficient cotton cultivation in the Yangtze River Valley[J]. China Cotton, 2018, 45(9): 11-12, 17.
- [9] 刘晓飞. 基于机收的小麦后直播棉关键栽培技术研究[D]. 扬州: 扬州大学, 2013.
- Liu Xiaofei. Study on key cultivation techniques of direct sowing cotton planted after wheat harvest based on mechanical harvesting in cotton[D]. Yangzhou: Yangzhou University, 2013.
- [10] 易福华, 华国雄, 王鉴远. 机械化麦后直播棉早熟高产栽培技术研究[J]. 江苏农业研究, 2000(2): 47-52.
- Yi Fuhua, Hua Guoxiong, Wang Jianyuan. Study on cultivated techniques on early mature, high yielding, saving labour in direct sowing cotton after barley under conditions of mechanized production[J]. Jiangsu Agricultural Research, 2000(2): 47-52.
- [11] 张东楼, 王兰香, 董国豪, 等. 麦后直播特早熟短季棉的可行性及栽培技术研究[J]. 山东农业科学, 1997(3): 22-23.
- Zhang Donglou, Wang Lanxiang, Dong Guohao, et al. Feasibility and cultivation techniques of direct-cooked short-season cotton after wheat[J]. Shandong Agricultural Science, 1997(3): 22-23.
- [12] 刘志瑞. 麦后直播棉机械化栽培与应用前景[J]. 中国棉花, 1994, 21(9): 18.
- Liu Zhirui. Mechanized cultivation and application prospect of cotton sown after wheat harvest[J]. China Cotton, 1994, 21(9): 18.
- [13] 吴慧, 王桂霞, 刘晓飞, 等. 江苏地区施用“棉太金”对棉花产量和品质的影响[J]. 安徽农业科学, 2012, 40(29): 14211-14212.
- Wu Hui, Wang Guixia, Liu Xiaofei, et al. Effect of "Miantaijin" on yield and fiber quality of cotton (*Gossypium* sp.) in Jiangsu province[J]. Anhui Agricultural Science, 2012, 40(29): 14211-14212.
- [14] Khan A. Effects of sowing date and plant density on summer-sown cotton yield, and nutrients accumulation [C]// 第七届国际作物科学大会摘要集. 北京: 中国农业科学院, 中国作物学会, 2016: 2.
- Aziz khan. Effects of sowing date and plant density on summer-sown cotton yield, and nutrients accumulation [C]// Collection of abstracts of the 7th International Crop Science Conference. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, Chinese Crop Society, 2016: 2.
- [15] 杨长琴, 张国伟, 刘瑞显, 等. 种植密度和缩节胺调控对麦后直播棉产量和冠层特征的影响[J]. 棉花学报, 2016, 28(4): 331-338.
- Yang Changqin, Zhang Guowei, Liu Ruixian, et al. Effects of planting density and growth regulator mepiquat on yields and canopy architecture of cotton sown after harvesting barley[J]. Cotton Science, 2016, 28(4): 331-338.
- [16] Shahbaz A T. 缩节胺对晚播高密棉花形态特征、生理特性的影响[D]. 武汉: 华中农业大学, 2018: 221.
- Shahbaz A T. Foliar applied mepiquat chloride induced morphophysiological changes in late-planted cotton (*Gossypium hirsutum* L.) at high density[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2018: 221.
- [17] 陈和明. 专用型调节剂“棉太金”对棉花生长发育及产量的影响[J]. 安徽农学通报, 2015, 21(14): 92-93.
- Chen Heming. Effect of special-purpose regulator "Miantaijin" on cotton growth and yield[J]. Anhui Agricultural Science, 2015, 21(14): 92-93.

- tural Science Bulletin, 2015, 21 (14): 92-93.
- [18] 郭利双. “棉太金”在棉花上的应用效果[J]. 中国棉花, 2011, 38(2): 21.
- Guo Lishuang. Application effect of "Miantaijin" on cotton [J]. China Cotton, 2011, 38(2): 21.
- [19] 孙国军, 李克福, 郭建斌, 等. 抗虫棉专用调节剂“棉太金”在棉花上的应用效果[J]. 新疆农垦科技, 2013, 36 (1): 34-35.
- Sun Guojun, Li Kefu, Guo Jianbin, et al. Application effect of cotton-tolerant cotton special modifier "Miantaijin" on cotton[J]. Xinjiang Agricultural Reclamation Science and Technology, 2013, 36(1): 34-35.
- [20] 李瑞春, 金路路, 李憬霖, 等. 棉花化控调节剂“棉太金”与“全精控”作用效果比较研究[J]. 中国农学通报, 2016, 32(33): 102-108.
- Li Ruichun, Jin Lulu, Li Jinglin, et al. Cotton chemical regulators 'Miantaijin' and 'Quanjingkong': a comparative study on their effect[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2016, 32(33): 102-108.
- [21] 李海涛, 杨中旭, 李秋芝, 等. 棉太金对抗虫棉的调控效果[J]. 中国棉花, 2012, 39(10): 39-40.
- Li Haitao, Yang Zhongxu, Li Qiuzhi, et al. Effect of "Miantaijin" regulator on insect-resistant cotton[J]. China Cotton, 2012, 39(10): 39-40.
- [22] 吴莘玲, 耿吉嘉, 曹丽芳, 等. 密度与化控对麦后直播棉产量及矿质元素积累的影响[J]. 棉花学报, 2020, 32 (5): 438-448.
- Wu Xinling, Geng Jijia, Cao Lifang, et al. Effects of planting density and chemical control on yield and mineral elements accumulation of cotton direct seeded after wheat[J]. Cotton Science, 2020, 32(5): 438-448.
- [23] 王志琴. 作物栽培生理研究法实验讲义[Z]. 扬州: 扬州大学, 2007: 3-6.
- Wang Zhiqin. Experimental lectures on crop cultivation physiology research[Z]. Yangzhou: Yangzhou University, 2007: 3-6.
- [24] 邹琦. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000: 64-67, 127-130.
- Zou Qi. Experimental guidance of plant physiology[M]. Beijing: China Agricultural Press, 2000: 64-67, 127-130.
- [25] 裴建峰. 不同基因型玉米碳氮代谢差异研究[D]. 郑州: 河南农业大学, 2007.
- Chang Jianfeng. Study on differences of carbon and nitrogen metabolism in different genotype maizees [D]. Zhengzhou: Henan Agricultural University, 2007.
- [26] Chen Chao, Pang Yanmei, Pan Xuebiao, et al. Impacts of climate change on cotton yield in China from 1961 to 2010 based on provincial data[J]. Journal of Meteorological Research, 2015, 29(3): 515-524.
- [27] 徐瑞强, 徐海东, 董合林, 等. 液态有机肥与氮肥配施对棉花生理特性及产量的影响[J]. 中国农学通报, 2019, 35(13): 42-47.
- Xu Ruiqiang, Xu Haidong, Dong Helin, et al. Liquid organic fertilizer and nitrogen fertilizer management: effects on physiological characteristics and yield of cotton [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2019, 35 (13): 42-47.
- [28] Dong Hezhong, Kong Xiangqiang, Li Weijiang, et al. Effects of plant density and nitrogen and potassium fertilization on cotton yield and uptake of major nutrients in two fields with varying fertility[J]. Field Crops Research, 2010, 119(1): 106-113.
- [29] 周桂生, 周福才, 谢义明, 等. 温度胁迫对转 *Bt* 基因抗虫棉毒蛋白的表达和棉铃虫死亡率的影响[J]. 棉花学报, 2009, 21(4): 302-306.
- Zhou Guisheng, Zhou Fucui, Xie Yiming, et al. Effects of temperature stress on *Bt* insecticidal protein expression in *Bt* transgenic cotton leaves and death rate of cotton bollworm[J]. Cotton Science, 2009, 21(4): 302-306.
- [30] 张祥, 刘晓飞, 吕春花, 等. 低温对转 *Bt* 基因棉杀虫蛋白表达及其氮代谢的影响[J]. 棉花学报, 2012, 24(2): 153-158.
- Zhang Xiang, Liu Xiaofei, Lü Chunhua, et al. Effect of low temperature on the insecticidal properties and nitrogen metabolism of *Bt* cotton[J]. Cotton Science, 2012, 24(2): 153-158.