

光温因子对水稻产量及品质形成的调控

解文孝¹, 刘 博¹, 韩 勇¹, 李建国¹, 付 亮¹, 高 岐²

(1. 辽宁省农业科学院水稻研究所, 沈阳 110101; 2. 沈阳市农业检测中心, 沈阳 110034)

摘要:应用典型相关的分析方法,在大田生产条件下,通过对水稻不同生育时期的光温因子与产量构成因素及产量性状和品质性状的分析结果,发现在温光因子中,移栽期—始穗期日照、始穗期—成熟期积温对水稻的产量性状和品质性状的影响较大;在产量性状中,每穴穗数和结实率是受环境影响较大的性状;在品质性状中,蛋白质含量、垩白粒率、长宽比是受环境影响较大的性状。同时,灌浆结实期高温导致水稻结实率明显下降、千粒重略有提高;蛋白质含量、垩白粒率、长宽比受环境影响最大。

关键词:光温因子; 高温; 产量; 品质; 典型相关

中图分类号: S511 文献标识码: A 文章编号: 1002-2767(2008)06-0026-05

Effect of Temperature and Light on Yield and Quality of Rice

XIE Wen-xiao¹, LIU Bo¹, HAN Yong¹, LI Jian-guo¹, FU Liang¹, GAO Qi²

(1. Rice Research Institute of Liaoning Academy of Agricultural Sciences, Shenyang 110161; 2. Agricultural Testing Center of Shenyang, Shenyang 110161)

Abstract: Field and grain house trial was conducted in the year of 2006 and 2007, and the effect of temperature and light conditions at different growth stage on yield traits and quality of rice was determined by typical correlation analysis. Results showed that the illumination from transplanting to initial heading and the accumulated temperature from initial heading to maturing had significant effect on yield and quality traits. The yield traits of panicles per hill and percentage of filled grain, and quality traits of protein content, chalk rate, grain length to width were affected greatly by environment factors. Higher temperature at grain filling resulted in lower percentage of filled grain and higher 1000-grain weight. Protein content, chalk rate and grain length to width affected mostly by environment factors.

Key words: temperature and illumination factors; high temperature; yield; quality; typical correlation analysis

在作物生产中,光照与温度是首要的生态环境因子,是水稻籽粒灌浆能量基础,所以如何提高光能利用是水稻育种和栽培的永恒课题。有关光照对水稻结实及干物质生产和分配的影响,国内外已有很多研究报道^[1-2]。光照不足会降低光合作用,减少干物质生产,但能提高养分运转率;开花前后光照不足,会影响小穗的育性^[3]。但也有人认为,光照不足不影响单株平均粒重、结实率和千粒重^[4]。本试验重点研究抽穗和结实期各阶段温度和光照对直立穗和半直立穗水稻结实及干物质生产与分配的影响,分析光温对籽粒生长及稻米品质的影响,揭示光照和温度引起水稻籽粒充实不良及稻米品质差的原因,探讨改善光温胁迫下籽粒灌浆及稻米品质的途径。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试水稻品种 10 个,分别为沈农 9765、辽优 267、盐优 7592、辽粳 294、盘锦 8 号、辽盐 42、开 226、沈农 9810、盘龙 5 号、LDC012。

1.2 试验方法

1.2.1 灌浆期高温处理 试验于 2006 年在辽宁省稻作研究所试验地进行。4 月 20 日播种,5 月 22 日移栽,田间管理同大田生产。7 月 30 日在试验田内选长势一致的稻株,每个品种各选 18 穴,分别带土移栽到直径为 20 cm 的塑料桶中,每桶 3 穴。试验分常温对照和温室处理,3 次重复。在各品种的始穗期,分别随机抽取 3 桶植株放置在温湿可控的玻璃温室内增温处理,温度为(35.0±0.2)℃,连续 20 d,每天 8 h(8:00~16:00),然后移入常温对照的稻田内。常温对照与增温处理的水肥等管理保持一致,水稻成熟后分别收获进行室内考种和相关

收稿日期: 2008-05-09
基金项目: 辽宁省自然科学基金项目(20052132)
第一作者简介: 解文孝(1982-),男,辽宁省本溪市人,硕士,研究,从事水稻栽培研究。Tel: 013889324680; E-mail: wx_xie@126.com.

测试。

1.2.2 温光效应处理 试验于 2006 和 2007 年在辽宁省稻作研究所试验地进行, 每年度播种 4 期, 各年播期统一安排为: 第 1 期 4 月 16 日(A1), 第 2 期 4 月 26 日(A2), 第 3 期 5 月 6 日(A3), 第 4 期 5 月 16 日(A4)。试验采用随机区组设计, 4 次重复, 8 行区, 小区面积为 10 m², 每穴插 3~4 苗, 株行距 30 0 cm×13.3 cm, 井水灌溉。中等肥力。田间管理按常规进行, 但要求管理均匀一致。各期秧龄均 35 d 时移栽。根据试验期内各相关气象资料, 结合试验整理试验结果。

1.3 考察项目

成熟期各试点在每个重复中各取代表性植株 5 株, 风干后考种。测量穗长、每穗总粒数、每穗成粒数、每穗秕粒数、千粒重、谷草比、一次枝梗和二次枝梗数、单株产量等。

按照中华人民共和国农业部标准 NY147-88 米质测定方法测定各项指标。具体指标: 出糙率、精米率、整精米率、垩白粒率、垩白度、透明度、直链淀粉、

蛋白质含量。

2 结果与分析

2.1 高温处理对水稻产量和品质的影响

2.1.1 高温处理对水稻产量构成要素的影响 表 1 结果显示, 高温处理与常温对照相比水稻穗粒数的差异较小, 高温处理的 10 个试验品种中, 有 5 个略有降低, 5 个略有提高。高温处理与对照间的这些微小的差异可能主要来自于试验中的取样误差, 这说明水稻抽穗开花期遇到高温, 并不会显著引起颖花退化。高温很大程度降低了水稻结实率, 与常温对照相比, 高温处理的 10 个品种的结实率平均下降了 20% 以上。同时, 试验结果还显示高温对水稻结实率的影响存在基因型差异, 下降幅度最大的为盘锦 8 号, 降幅达到 31.8%, 降幅最小的为辽盐 42, 降幅仅为 10.8%。水稻千粒重比常温对照略有增加, 6 个品种平均增加 0.5 g 左右, 千粒重的略微增加可能与源库关系的变化相关。由于空秕率提高, 降低了总库容量, 使源库比提高, 因此, 有利于千粒重的提高。

表 1 灌浆期高温对产量性状的影响

品种	穗粒数/个		结实率/%		千粒重/g	
	常温(对照)	高温处理	常温(对照)	高温处理	常温(对照)	高温处理
沈农 9765	92.8	93.8	84.0	63.4	24.0	24.3
盐优 7592	180.2	175.6	61.9	51.6	21.8	22.5
辽优 267	89.5	90.1	70.3	54.6	25.7	25.1
辽优 20	135.3	134.2	64.9	51.3	23.0	23.9
辽粳 294	81.9	80.6	95.8	71.5	22.9	23.1
盘锦 8 号	92.8	93.4	89.8	61.2	24.7	25.6
辽盐 42	109.0	108.7	67.6	60.3	22.7	23.8
辽盐 158	102.9	100.5	85.1	62.4	21.9	22.5
开 226	96.4	97.2	87.7	64.1	21.8	21.3
沈农 9810	80.0	80.9	87.2	74.1	23.2	23.9
盘龙 5 号	99.8	99.2	81.1	64.1	22.0	23.5
LDC012	100.8	102.5	79.9	57.1	23.2	24.3
平均值	105.1	104.7	79.6	61.3	23.1	23.7

2.1.2 高温对稻米品质的影响 (1)高温对稻米加工品质的影响: 研究主要探讨水稻抽穗开花期高温对糙米率和整精米率的影响及其基因型差异。糙米

率试验结果发现(见图 1), 抽穗开花期高温对水稻糙米率影响不明显。但与常温相比, 10 个试验品种的糙米率都略微下降; 高温处理很大程度降低了稻

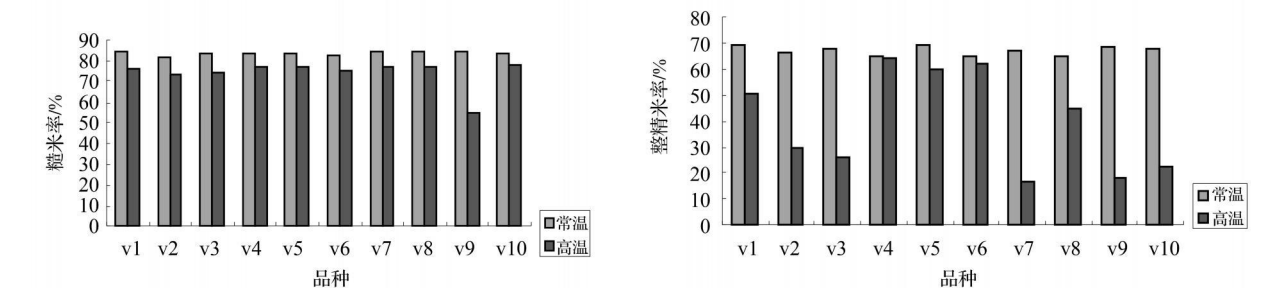


图 1 高温处理对糙米率和整精米率的影响

V1: 沈农 9765; V2: 盐优 7592; V3: 辽优 267; V4: 辽粳 294; V5: 盘锦 8 号; V6: 辽盐 42; V7: 开 226; V8: 沈农 9810; V9: 龙盘 5 号; V10: LDC012。下同。

米的整精米率,与常温对照相比,有6个品种的整精米率平均下降了40%以上。

试验结果还显示高温对水稻整精米率的影响也存在明显的基因型差异,其中下降幅度最大的是开226,降幅接近75%,而辽粳294、辽盐42基本保持不变。这些结果表明,水稻抽穗期高温对加工品质的影响主要表现在整精米率上,而且基因型间存在差异。

(2)高温对稻米外观品质的影响:图2显示,水稻抽穗开花期高温处理能显著提高稻米垩白率和垩

白度,与常温对照相比,除辽优267外,其它参试品种的稻米垩白率都有不同程度的增加。受高温影响最大的是沈农9810和辽星16,垩白率分别提高了59.3%和58.3%;影响最小的是盐优7592,垩白率仅增加了0.02%。与常温相比,高温处理下稻米垩白度的变化程度更大,并且高温对各品种垩白度的影响存在明显的基因型差异。在所有的参试品种中,受影响最大的是沈农9810,最低的是辽优267。可见,高温对垩白性状的影响程度与水稻品种稻米品质的遗传特性相关。

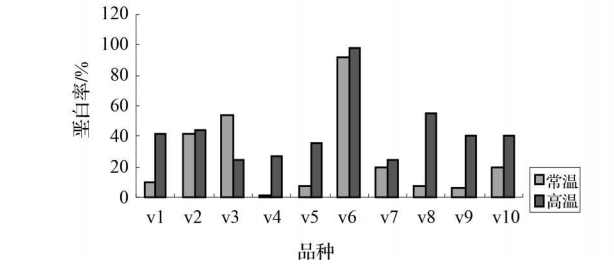


图2 高温处理对垩白的影响

(3)高温对稻米直链淀粉含量和蛋白质含量的影响:图3表明,水稻抽穗开花期高温处理对稻米直链淀粉含量的影响因品种而异。其中盐优7592和沈农9810的直链淀粉含量与常温对照相比有所下

降,其它参试品种都有不同程度的增加。受高温影响最大的是LDC012,直链淀粉含量提高了18.2%,影响最小的是辽粳294,仅增加了0.04%。与常温相比,高温处理下参试品种的蛋白质含量会有所提

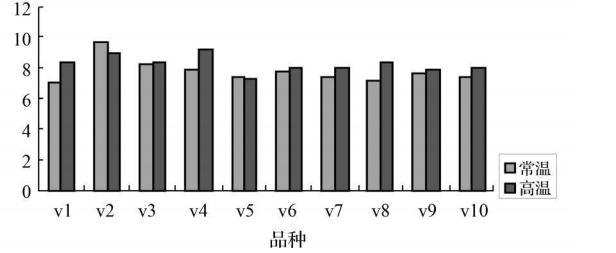
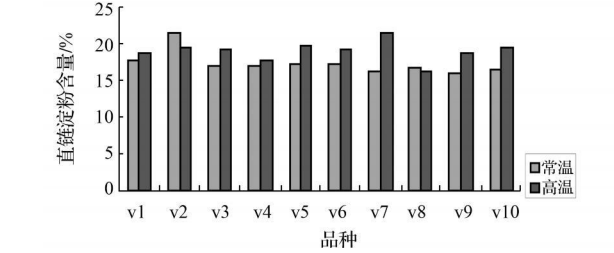


图3 高温处理对直链淀粉和蛋白质含量的影响

高,平均增加幅度为7%左右。

2.2 不同时期积温、日照时数与产量相关分析

相关分析表明(见表2),始穗期至成熟期积温、移栽期至始穗期温差和移栽期至始穗期日照与稻谷

产量、生物产量及产量结构都有显著相关性,且都为正相关。其中,移栽期至始穗期日照时数与每穴穗数的相关性最大($R=0.824^{**}$),其次为移栽期至始穗期温差与每穴穗数的相关性($R=0.797^{**}$)。

表2 不同生育期的温度日照与产量性状的相关关系

变量	稻谷产量	生物产量	每穴穗数	总粒数	结实率	千粒重
移栽期—始穗期积温	0.152	0.160	0.293	0.067	-0.009	0.125
始穗期—成熟期积温	0.596**	0.680**	0.764**	0.369*	0.623**	0.440**
移栽期—始穗期温差	0.652**	0.642**	0.797**	0.345*	0.555**	0.439**
始穗期—成熟期温差	0.177	0.293	0.286	0.151	0.332*	0.234
移栽期—始穗期日照	0.680**	0.685**	0.824**	0.372*	0.584**	0.449**
始穗期—成熟期日照	-0.197	-0.212	-0.265	-0.093	-0.016	-0.127

2.3 温光因子与产量品质的典型相关

以移栽期—始穗期积温(x_1)、始穗期—成熟期积温(x_2)、移栽期—始穗期温差(x_3)、始穗期—成熟期温差(x_4)、移栽期—始穗期日照(x_5)、始穗期—成

熟期日照(x_6)为温光因子;以稻谷重量(y_1)、生物产量(y_2)、每穴穗数(y_3)、每穗总粒数(y_4)、结实率(y_5)、千粒重(y_6)、平均谷日增重(y_7)、平均干物质日增重(y_8)为产量性状;以穗长(z_1)、一次枝梗数

(z_2)、二次枝梗数(z_3)、每穗实粒数(z_4)、每穗秕粒数(z_5)、株高(z_6)、生育期(z_7)为农艺性状;以糙米率(t_1)、精米率(t_2)、整精米率(t_3)、垩白粒率(t_4)、垩白大小(t_5)、垩白度(t_6)、透明度(t_7)、长度(t_8)、宽度(t_9)、长宽比(t_{10})、直链淀粉含量(t_{11})、蛋白质含量(t_{12})为品质性状组进行典型相关分析。

表 3 光温因子与产量及产量性状的典型相关分析

性状比较	典型相关系数 R	典型变量组合
温光因子/ 产量性状	0.9873 **	$U_1 = -0.0051x_1 - 0.2913x_2 - 0.2048x_3 - 0.1851x_4 - 0.4258x_5 + 0.0058x_6$ $V_1 = -0.6628y_1 - 0.7089y_2 - 0.8313y_3 - 0.3295y_4 - 0.6346y_5 - 0.4752y_6 - 0.3275y_7 - 0.538y_8$
	0.9684 **	$U_2 = -0.5057x_1 + 0.7663x_2 + 0.2019x_3 - 0.0211x_4 - 0.7175x_5 + 0.2792x_6$ $V_2 = 4.0829y_1 - 6.5789y_2 - 0.0249y_3 - 0.0643y_4 + 0.1029y_5 + 0.1072y_6 - 3.6513y_7 + 5.7226y_8$
温光因子/ 农艺性状	0.8728 **	$V_1 = -0.2846x_1 - 0.7641x_2 - 0.8235x_3 - 0.3001x_4 - 0.8392x_5 + 0.3247x_6$ $U_1 = 0.1366z_1 + 0.1474z_2 + 0.2445z_3 - 0.533z_4 + 0.5376z_5 + 0.1113z_6 - 0.6101z_7$
光温因子/ 品质性状	0.8860 **	$U_1 = -0.10551x_1 + 0.4037x_2 + 0.1961x_3 - 0.172x_4 + 0.4925x_5 - 0.1534x_6$ $V_1 = 0.4136t_1 + 0.1253t_2 - 0.2943t_3 - 0.7221t_4 + 0.2147t_5 + 0.3461t_6 + 0.2419t_7 - 0.4126t_8 + 0.4842t_9 + 0.7155t_{10} - 0.5102t_{11} + 0.9047t_{12}$

由表 3 可见,光温因子与产量性状之间存在极显著的相关关系。两组变量间的相关主要由载荷量较高的变量所决定。分析 2 个典型变量组成可知,在光温因子与产量性状的第 1 对典型变量构成中, U_1 的权重系数大小依次为 $x_5 > x_2 > x_3 > x_4 > x_6 > x_1$,以 x_5 和 x_2 的权重系数较大; V_1 的权重系数大小依次为 $y_3 > y_2 > y_1 > y_5 > y_8 > y_6 > y_4 > y_7$,以 y_3 、 y_2 和 y_1 的权重系数较大。说明该对典型变量中,移栽期—始穗期日照和始穗期—成熟期积温和每穴穗数、生物产量和稻谷重量密切相关。在光温因子与产量性状的第 2 对典型变量构成中, U_2 的权重系数大小依次为 $x_2 > x_5 > x_1 > x_6 > x_3 > x_4$,以 x_5 、 x_2 和 x_1 的权重系数较大, V_2 的权重系数大小依次为 $y_2 > y_8 > y_1 > y_7 > y_6 > y_5 > y_4 > y_3$,以 y_2 、 y_8 和 y_1 的权重系数较大。说明在该对典型变量中, x_5 、 y_2 呈负效应。

在不同生育时期的光温因子与农艺性状的典型相关系数中,只有第 1 个典型相关系数较大且达到极显著水平。表明光温因子与农艺性状之间也存在极显著的相关关系。在光温因子与农艺性状的第 1 对典型变量构成中, U_1 的权重系数大小依次为 $x_5 > x_3 > x_2 > x_6 > x_4 > x_1$,以 x_5 和 x_3 的权重系数较大; V_1 的权重系数大小依次为 $z_7 > z_5 > z_4 > z_3 > z_2 > z_1 > z_6$,以 z_7 、 z_5 和 z_4 的权重系数较大。说明该对典型变量中,移栽期—始穗期日照、移栽期至始穗期温差和每穗秕粒数、生育期、每穗实粒数密切相关。 x_5 和 x_3 的效应方向相同, z_7 、 z_4 和 z_5 的效应方向相反。

在不同生育时期的光温因子与品质性状的典型相关系数中,只有第 1 个典型相关系数较大且达到极显著水平。说明光温因子与水稻品质性状间存在极显著的相关关系。在光温因子与品质性状的第 1

对典型变量构成中, U_1 的权重系数大小依次为 $x_5 > x_2 > x_3 > x_4 > x_6 > x_1$,以 x_5 和 x_2 的权重系数较大; V_1 的权重系数大小依次为 $t_{12} > t_4 > t_{10} > t_{11} > t_9 > t_8 > t_1 > t_6 > t_3 > t_7 > t_5 > t_2$,以 t_{12} 、 t_4 和 t_{10} 的权重系数较大。说明该对典型变量中,移栽期—始穗期日照、始穗期—成熟期积温与蛋白质含量、垩白粒率、长宽比密切相关。 x_5 和 x_2 的效应方向相同, t_{12} 、 t_{10} 和 t_4 效应方向相反。

3 结论与讨论

高温处理显著降低了水稻结实率、整精米率,并使稻米垩白率增加。水稻抽穗开花期高温处理对稻米直链淀粉含量的影响因品种而异^[5-6]。典型相关分析发现,在温光因子中,移栽期—始穗期日照、始穗期至成熟期积温对水稻的产量性状和品质性状的影响是最大的;而在产量性状中,每穴穗数和结实率是受环境影响最大的性状,在品质性状中,蛋白质含量、垩白粒率、长宽比是受环境影响最大的性状。水稻抽穗开花期是对温度光照等环境因素的高度敏感期,许多大量试验证明高温不利的环境因素能显著影响花粉发育、花粉育性和柱头活力,从而降低结实率,导致产量下降^[7-10]。本试验结果显示,水稻抽穗开花期高温能使其结实率明显下降、穗粒数增减不显著、千粒重略有提高。这可能是因为水稻抽穗开花期颖花总量已基本确定,高温并没有导致颖花显著退化,但导致了花粉败育,空秕粒增多,进而显著提高源库比,使千粒重呈现出略微增高的趋势,但千粒重的略微增加并不能弥补因结实率下降引起的产量损失。本研究发现,水稻抽穗开花期高温热害也同时显著降低稻米的加工品质和外观品质,尤其是外观品质(垩白率和垩白率)。这主要是因为试验中的高温处理时间比较长,可能会直接影响到灌浆期

间淀粉形成和籽粒充实。另外,在高温处理下,尽管许多籽粒仍能成功受精,但在生理上可能受到一定伤害,使灌浆过程受到间接影响,不利于稻米保持较好的外观品质^[11]。因此,水稻抽穗开花期出现极端高温,不仅不利于高产稳产,而且也对稻米的商品价值造成显著的负面效应。

由于育种材料繁多和基因与环境互作的复杂性,要定量评价一个新品种或育种中间材料的性状及其适宜生态区域往往很困难,而且由于育种目标涉及的多变量相关的复杂性和大量品种(样本)观测的繁琐性,加上育种工作者大都只注意育种材料和新品种本身,往往忽视相关的基础研究,使得国内外有关光温因子与水稻产量和品质性状之间相关性研究较为薄弱。为此,本文应用典型相关,在大田生产条件下,通过对水稻各生育期光温因子对产量构成因素、产量性状和品质性状的影响效应的研究,为应对气候变化进行水稻品种选育和水稻品种布局提供参考。

参考文献:

[1] 赵海燕,姚凤梅,张勇,等. 长江中下游水稻开花灌浆期气象

要素与结实率和粒重的相关性分析[J] . 中国农业科学, 2006, 39(9): 1765-1771.

[2] 张洪松, 岩田忠. 粳型杂交稻与常规稻的物质生产及营养特性的比较[J] . 西南农业学报 1995, 8(4): 11-16.

[3] 张嵩午. 我国南北气候过渡地区稻米品质的地域分布[J] . 应用生态学报, 1993, 4(1): 42-46.

[4] 张嵩午, 周德翼. 温度对水稻整精米率的影响[J] . 中国水稻科学, 1993, 7(4): 211-216.

[5] 张坚勇, 肖应辉, 万向元, 等. 水稻品种外观品质性状稳定性分析[J] . 作物学报, 2004, 30(6): 548-554.

[6] 张佩莲, 钟旭华. 穗上不同部位籽粒的稻米垩白度差异的研究[J] . 江西农业大学学报, 1995, 17(4): 396-399.

[7] 张强, 李自超, 吴长明, 等. 不同株穗型水稻超高品种产量构成因素分析[J] . 西南农业学报, 2005, 18(5): 518-521.

[8] 张文香, 王成瑗, 王伯伦, 等. 寒冷地区温度、光照对水稻产量及品质的影响[J] . 吉林农业科学, 2006, 31(1): 16-20.

[9] 张宪政. 作物生理研究法[M] . 北京: 农业出版社, 1992.

[10] 周德翼, 张嵩午. 稻米直链淀粉含量与结实期温度间的关系研究[J] . 西北农业大学学报 1994, 22(2): 1-5.

[11] 周德翼, 张嵩午. 稻米综合品质与结实期气象因子的关系研究[J] . 西北农业大学学报, 1994, 22(2): 6-10.

(上接第 25 页)

不同。克强、克壮、克旱 6 号、克丰 2 号以及克丰 3 号随着密度的增加产量下降, 这是因为其品种茎秆强度不够, 在高密度下倒伏率增加, 容易倒伏。新克旱 9 号随着密度增加产量也增加, 但是达到一定程度后产量增加不明显。克丰 4 号和克旱 16 随着密度的增加产量明显增加, 产量提高是靠增加密度, 发挥群体的增产潜力, 这类品种在高密度条件下抗倒伏性极强, 单位面积成穗率高, 从而提高产量。

3.2 克旱 16 的最大灌浆速率最高, 为 0.1195 mg · d⁻¹, 克丰 4 号虽然最高灌浆速率小(0.0694 mg · d⁻¹), 但达到最高灌浆速率的时间早, 开花后 12 6190 d 就达到最大灌浆速率。说明在黑龙江省春小麦生态区提高灌浆速率和提早最高灌浆速率的时间对高产超高产有积极意义, 这是本生态区前期干旱、后期多湿的生态选择的结果。

3.3 生态区域和生产条件对品种的选择是实现超高产的前提。品种与其生态环境有紧密的关系, 它包括自然条件、栽培特点以及生产水平, 三者缺一不可。克丰 4 号、克旱 16 为密肥型品种, 是目前生产条件不断改善的情况下, 为黑龙江省的具有更高肥力和灌水条件地区选育的一种产量潜力最高的生态类型品种。该类品种除具有水肥型品种的特征、特

性外, 还具有较好利用光能的株型结构。但是同类品种适应地区不同其生物学特性也不同, 克丰 4 号在位于黑龙江省东南部温暖湿润的海林农场连续几年在大面积生产上平均产量达到 6 750 ~ 7 500 kg · hm⁻²的高产水平, 克丰 4 号为中早熟品种, 矮秆、秆强、灌浆速度快、千粒重小、耐密植、单株个体生物学产量小。克旱 16 在位于黑龙江省北部春麦区冷凉半山区的长水河农场连续几年在大面积上平均产量达到 6750 kg · hm⁻²的高产水平, 该品种中晚熟、中秆、秆强、灌浆速率高、千粒重大、较耐密植、生物学产量较大。

参考文献:

[1] 魏湜. 春小麦优质高效实用生产技术[M] . 哈尔滨: 黑龙江科学技术出版社, 2004: 1-16.

[2] 赵文彬. 黑龙江省优质春小麦超高产栽培技术[J] . 安徽农学通报, 2007, 28(2): 17-20.

[3] 曹树青. 高产小麦旗叶光合作用及与籽粒灌浆进程关系的研究[J] . 中国农业科学, 2000, 33(6): 19-25.

[4] 梅方竹, 周广生, 朱旭彤 等. 小麦粒重在产量构成中的作用及提高粒重的技术措施[J] . 湖北农业科学 2001(2): 21-23.

[5] 王建林, 李雁鸣, 魏树和 等. 小麦籽粒灌浆特性研究概况及其育种学评价[J] . 辽宁农业科学, 2000(5): 21-23.

[6] 吴纪民, 魏燮中, 潘杰华 等. 小麦灌浆期的生长研究[J] . 江苏农业科学, 1992, 13(2): 1-4.