

高粱籽粒灌浆动态及产量品质变化的研究

韩永亮¹ 崔江慧² 方路斌¹ 高玉坤² 罗河月¹ 常金华² 李平¹ 薛薇³

(¹ 河北省邯郸市农业科学院/河北省作物杂种优势研究与利用重点实验室/邯郸市种质资源创新与

分子辅助育种重点实验室, 邯郸 056000; ² 河北农业大学农学院, 保定 071001; ³ 保定职业技术学院, 河北保定 071000)

摘要: 为了研究高粱籽粒灌浆动态规律, 采用方差分析和回归分析法, 对3份高粱品系 dk81、a8203、sh18 在开花期测定开花速率; 在灌浆期对穗部上、中、下3层定期取样, 测定百粒重、籽粒含水量、总淀粉含量等性状。经回归分析发现高粱穗部灌浆上、中、下层不完全同步; 中部百粒重千重与开花后天数符合三次方曲线; 中部淀粉含量随着灌浆出现多峰曲线; 百粒重千重与籽粒含水量也符合三次方曲线。因此, 可以用籽粒含水量与百粒重千重建模结合淀粉含量预测最适收获期。

关键词: 高粱; 开花期; 籽粒; 灌浆动态; 产量品质

Study on the Dynamics of Grain Filling and Changes in Yield and Quality of Sorghum

HAN Yongliang¹, CUI Jianghui², FANG Lubin¹, GAO Yukun²,

LUO Heyue¹, CHANG Jinhua², LI Ping¹, XUE Wei³

(¹ Handan Academy of Agriculture Sciences/Key Laboratory of Crop Hybrid Research and Utilization in Hebei/Handan Key

Laboratory of Germplasm Resources Innovation and Molecular Assisted Breeding, Handan 056000, Hebei ;

² College of Agriculture, Hebei Agricultural University, Baoding 071001, Hebei ;

³ Baoding Vocational and Technical College, Baoding 071000, Hebei)

高粱 [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] 是世界上第五大禾谷类作物, 其生物学产量和经济产量潜力较高^[1], 具有较强的抗逆性和适应性, 在平原、山丘、沙地、盐碱地均可种植, 高粱籽粒含有丰富的蛋白质、矿物质等营养, 是我国重要的杂粮作物^[2]。目前我国高粱生产主要以粒用高粱为主, 在高粱的产量构成因素中粒重已成为重要因素^[3]。

高粱籽粒的形成是一个动态变化过程, 与收获期有一定关系, 如果收获过早, 籽粒灌浆不足引起粒重降低导致减产; 收获过晚一方面增加呼吸消耗, 雨露淋溶, 另一方面也会增加落粒、穗发芽、倒伏等现象

发生的概率, 引起产量降低和品质下降。因此为实现高粱的高产创建, 必须掌握高粱籽粒灌浆规律, 明确最佳收获期。柯福来等^[4]研究籽粒灌浆效应, 认为群体线性灌浆期的灌浆速率 P2 对产量的影响最大, 提高 P2 可能是增产的关键。葛占宇等^[5]研究高粱灌浆期淀粉积累, 认为速率的峰值出现在籽粒灌浆后第 28 天前。赵文博等^[6]研究主推高粱品种灌浆与脱水速率的关系, 认为生产中应选用灌浆前中期籽粒灌浆较快与成熟期籽粒脱水速率相对较高的品种。郝全军等^[7]通过研究高粱籽粒成熟度与养分积累及发芽的关系发现, 随着高粱籽粒成熟度的增加, 其千粒重、发芽率、淀粉含量逐渐提高。虽然人们对高粱灌浆动态进行了一定的研究, 但针对高粱穗部特定开花部位灌浆规律的研究尚鲜有报道。本研究对高粱穗部进行层次划分, 针对盛花期形成的籽粒开展了籽

基金项目: 河北省重点研发计划项目: 现代育种专项 (20326347D); 人才兴邯筑基工程 2023 年度重点人才项目: 邯郸特色杂粮产业科技创新与人才培养; 2021 年河北省高等学校科学技术研究青年基金项目 (QN 2021302)

通信作者: 方路斌, 常金华

粒灌浆动态及产量品质变化的研究,以期明确最佳收获期,为高产优质栽培提供理论依据和技术支撑。

1 材料方法

1.1 试验材料 选用邯郸市农业科学院杂粮研究室筛选的3份直立穗高粱品系,材料名称为dk81、a8203、sh18。

1.2 试验地点与方法 试验在邯郸市农业科学院附属试验基地进行,海拔60m,地处黄淮海平原,属暖温带大陆性季风气候,年平均气温13.1℃,年有效积温5010.8℃,日照时数2400~2500h,土壤为沙质壤土,肥力均匀。试验前0~20cm耕层的基础养分含量:水解性氮116.1mg/kg,有效磷16.0mg/kg,速效钾114.0mg/kg。

采用完全随机设计^[8],3个高粱品系设置3次重复。小区面积3.0m×6.0m,南北行向,每小区种植6行,行长6m,周围设保护行。2021年开展预试验,明确3个品系的特征特性、开花进程和生育期,2022年采取错期播种法,调整品系同时进入开花期。试验田前茬为空白地,栽培措施与大田生产基本一致。sh18于2022年5月19日开沟播种,dk81、a8203于2022年5月22日开沟播种。播前均施氮磷钾三元复合肥(N22-P8-K10)450kg/hm²,6月1日定苗,留苗密度为12000株/hm²,6月20日中耕除草1次,7月14日灌溉1次。拔节期和抽穗期分别追施1次尿素,施入量分别为150kg/hm²和120kg/hm²。高粱生长过程中,去除分蘖,高粱出苗期和成熟期加强管理,以防鸟害。

1.3 调查项目及方法 开花量统计 每个品种随机在小区内选50株挂牌标记,选取30株生长开花一致的植株,从初花期开始(2022年8月11日)每天记录开花量,直到开花结束(2022年8月17日),统计每日开花量,计算开花比例(开花数占总花数的比例),以开花量最大的3d为盛花期。确定盛花期开花量占穗部长度的比例位置。灌浆期穗部分层及取样 根据开(盛)花期开花量对高粱穗部进行层次划分:初花期开花部分为上部;盛花期开花部分为中部;开花末期为下部。对每个品系随机选5株,自开花结束后每3~5d按层次取样,取样后立即称量各层次籽粒鲜重,分装保存。共取样10次。灌浆期穗部分层百粒重千重的测量 对籽粒的鲜重样品于烘箱内80℃烘干,至恒重立即测量干重,并计算百粒干重。灌浆期穗部分层品质的测量 利用近红外谷物分析仪^[9]测定高粱籽粒淀粉、粗脂肪、粗蛋白质含量和单宁含量,3次重复,取平均值。

1.4 数据处理 采用SPSS 17.0进行方差分析^[9],利用Excel 2007应用软件整理试验数据,并进行作图,采用MATLAB R2015b软件进行回归分析与极值计算^[10]。

2 结果与分析

2.1 单日开花量统计分析 3个高粱品系的花期为2022年8月11~17日,对3个高粱品系的单日开花比例(表1)进行方差分析,结果发现高粱开花期单日开花比例在0.05水平差异显著,新复极差法进行多重比较显示(表2),开花后第3天、第4天、第5

表1 不同高粱品系单日开花比例 (%)

品系名称	开花期7d的单日开花比例						
sh18	5.06	16.61	21.48	21.96	18.86	8.68	7.34
a8203	1.82	8.68	24.68	28.36	30.20	6.27	0
dk81	2.68	13.55	21.67	26.48	22.92	10.74	1.97
平均值	3.19	12.95	22.61	25.60	23.99	8.56	3.10

数据从左到右依次为开花第1天至第7天的单日开花比例

表2 单日开花比例的多重比较

开花后天数(d)	单日开花比例(%)	显著性
4	25.60	a
5	23.99	a
3	22.61	a
2	12.95	b
6	8.56	bc
1	3.19	c
7	3.10	c

不同小写字母表示在0.05水平下的差异显著性

天开花比例最高且都在同一显著水平,可将这3天确定为盛花期。

本研究选用的3个品系穗形均为近似圆筒形,开花顺序是自上而下,因此穗长比例可以反应开花比例。根据这一结果对高粱穗部进行层次划分:初花期的开花部分为上部(自穗顶部起至穗长16.1%);开花末期的开花部分为下部(自穗末端起至穗长11.7%);盛花期开花部分为剩余部分(占比穗长的72.2%)。

2.2 穗部分层百粒重随灌浆时间的变化

2.2.1 鲜重变化 从表3可以看出,品系 sh18 穗上部百粒重鲜重的最大值出现在开花后的 24d,中部和下部百粒重鲜重最大值出现在开花后 27d;品系 a8203 穗上部和中部百粒重鲜重的最大值出现在开花后的 36d,下部百粒重鲜重最大值出现在开花后 41d;品系 dk81 穗上部和中部百粒重鲜重的最大值出现在开花后的 27d,下部百粒重鲜重最大值出现在开花后 36d,可见高粱灌浆期穗部的不同层次部位灌浆并不同步。

2.2.2 干重变化 从表4的数据可以看出,品系 sh18 穗上部和穗中部百粒重干重的最大值分别出现在开花后的 41d、36d,而下部百粒重干重最大值出现在开花后 46d;品系 a8203 穗上部百粒重干重的最大值出现在开花后的 36d,中部百粒重干重最大值出现在开花后的 31~36d,下部百粒重干重最大值出现在开花后 41d;品系 dk81 穗上部、中部和下

部百粒重干重的最大值均出现在开花后的 36d;结合表3数据可以发现高粱灌浆期穗部鲜重最大值时干物质积累不一定达到最大值。穗部上、中、下3层干物质积累达到最大的时间不完全一致。

由于高粱中部穗粒数占总穗粒的 72.2% 以上,当中部干物质积累最大时,整穗的干物质积累最大。因此以中部百粒重作为整穗抽样,对中部籽粒发育过程中开花后天数与籽粒干重进行回归分析,建立数学模型,结果显示:各品系中部籽粒干重(y)与开花后天数(x)之间符合三次曲线关系函数(表5)。

从各品系籽粒干重动态变化可以看出:a8203 最大灌浆速率在3个品系中最低,达到最大灌浆速率的时间比另外2个品系晚,这可能是其百粒重最低的原因;dk81 的最大灌浆速率较高,出现时间最早,表明 dk81 初期灌浆速率快,但是由于其灌浆结束最早,因此在3个品系中百粒重未达到最

表3 高粱籽粒成熟过程穗部分层的百粒重鲜重变化 (g)

开花后天数 (d)	sh18			a8203			dk81		
	穗上部	穗中部	穗下部	穗上部	穗中部	穗下部	穗上部	穗中部	穗下部
9	2.32	1.96	1.07	1.65	1.46	0.93	1.62	1.51	0.74
12	3.57	2.45	1.42	2.10	1.75	1.27	2.36	1.82	0.80
16	3.67	3.17	2.77	2.60	2.10	1.42	3.47	3.06	1.86
19	4.41	3.58	2.94	2.83	2.63	1.59	3.48	2.96	1.96
24	4.81	3.45	3.27	2.96	2.47	2.14	3.81	3.52	2.66
27	4.72	4.98	4.52	2.86	2.90	2.82	3.89	4.16	2.97
31	4.39	4.92	4.18	3.17	2.84	2.53	3.81	3.91	3.70
36	3.68	4.02	3.73	3.39	3.49	3.06	3.46	3.95	4.99
41	3.66	4.42	4.20	2.83	3.08	3.13	2.68	2.91	2.74
46	3.55	3.80	3.49	2.69	2.59	2.77	2.61	2.55	2.18

表4 高粱籽粒成熟过程穗部分层的百粒重干重变化 (g)

开花后天数(d)	dk81			a8203			sh18		
	穗上部	穗中部	穗下部	穗上部	穗中部	穗下部	穗上部	穗中部	穗下部
9	0.43	0.28	0.25	0.60	0.48	0.14	0.51	0.42	0.35
12	0.79	0.54	0.23	0.97	0.92	0.63	1.64	1.32	0.73
16	1.77	1.21	0.91	1.35	1.05	0.60	2.12	1.40	1.22
19	1.76	1.23	0.83	1.59	1.45	0.82	2.58	1.81	1.27
24	2.23	1.94	1.31	1.76	1.79	1.28	2.64	2.26	1.95
27	2.38	2.21	1.70	1.67	2.00	1.68	2.75	3.00	2.48
31	2.47	2.69	2.28	2.11	2.67	1.64	2.57	3.13	2.51
36	2.62	2.74	2.67	2.38	2.67	2.14	3.04	3.52	2.89
41	2.49	2.32	2.30	2.23	2.51	2.34	3.51	3.49	2.83
46	2.32	2.29	2.05	2.31	2.33	2.30	3.00	3.19	3.13

表 5 各品系籽粒干重变化数学模型

品系	籽粒干重变化函数	相关系数	最大灌浆速率时间 (d)	最大灌浆速率 (g/d)	极值时间 (d)	粒重极值 (g)
dk81	$y=-8E-05x^3+0.0034x^2+0.0694x-0.5982$	0.9739	14.17	0.1176	36.3	2.74
a8203	$y=-1E-04x^3+0.0059x^2-0.0214x+0.3444$	0.9754	19.67	0.0946	37.4	2.57
sh18	$y=-9E-05x^3+0.0046x^2+0.0496x-0.1408$	0.9747	17.03	0.1280	38.8	3.45

大; sh18 最大灌浆速率最高,出现时间比 a8203 早 2~3d,灌浆结束时间在 3 个品系中最晚,这可能是其百粒重最高的原因。图 1 为中部籽粒干重(y)与开花后天数(x)之间的三次曲线图。

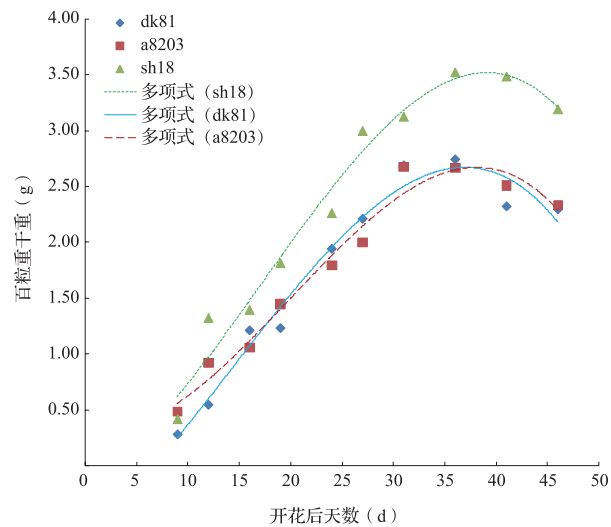


图 1 百粒重干重与开花后天数曲线

2.2.3 含水量变化 根据表 4 和表 6 的数据对高粱各品系的中部籽粒含水量和中部百粒重(干重)以

及开花后天数进行回归分析发现:随着中部百粒重的增加含水量下降,含水量与百粒重符合三次方关系;含水量与开花后天数,符合二次曲线模型,近似符合线性模型。由表 5 和表 7 可知百粒重(干重)最大值出现时间 dk81 为开花后 36.3d,a8203 为开花后 37.4d,sh18 为开花后 38.8d ;当百粒重最大时 3 个品系对应的籽粒含水量分别为 25.2%、16.0%、16.8%。可以根据中部籽粒含水量判断籽粒成熟度和收获时间。图 2 为中部籽粒含水量与百粒重干重三次方曲线。

2.3 穗部分层籽粒品质随灌浆时间的变化 由表 8 可以看出随着籽粒的成熟品质指标的变化趋势相近。粗蛋白含量呈现波动变化的趋势,粗脂肪含量变化不大,比较稳定,单宁含量随着籽粒成熟度的提高略有增加。

淀粉含量是高粱生产中非常重要的品质指标,以中部籽粒淀粉含量作为品系抽样进行分析发现:各品系淀粉含量变化随着籽粒灌浆出现近似多峰变化,用六次方多项式模型可以近似拟合淀粉含量与开花后天数的关系(图 3)。

表 6 高粱籽粒成熟过程穗部分层的籽粒含水量变化 (%)

开花后天数(d)	dk81			a8203			sh18		
	穗上部	穗中部	穗下部	穗上部	穗中部	穗下部	穗上部	穗中部	穗下部
9	73.57	81.64	66.50	63.66	67.09	84.52	77.98	78.65	67.55
12	66.40	70.30	70.95	53.98	47.50	50.21	54.06	46.08	48.35
16	49.03	60.47	50.87	48.05	49.77	57.83	42.27	55.97	55.98
19	49.40	58.49	57.53	43.68	44.95	48.49	41.48	49.26	56.78
24	41.56	44.98	50.89	40.37	27.65	40.07	45.18	34.38	40.36
27	38.83	46.87	42.76	41.54	31.01	40.32	41.70	39.85	45.22
31	35.05	31.28	38.37	33.42	19.92	35.06	41.32	36.42	39.89
36	24.31	30.63	46.47	29.76	23.56	30.00	17.55	12.39	22.37
41	7.19	20.38	16.00	21.17	18.52	25.24	4.10	21.21	32.76
46	10.90	10.18	5.96	14.15	9.99	16.94	15.55	15.93	10.31

表 7 高粱籽粒成熟过程籽粒含水量与粒重开花后天数的关系

品系	粒重增长与籽粒含水量曲线	相关系数	籽粒含水量与开花后天数曲线	相关系数	粒重极值时含水量(%)
dk81	$y=2E-05x^3-0.003x^2+0.136x+1.124$	0.9681	$y=0.0118x^2-2.4468x+99.668$	0.9813	25.2
a8203	$y=3E-05x^3-0.004x^2+0.106x+1.735$	0.9273	$y=0.0279x^2-2.861x+85.767$	0.9297	16.0
sh18	$y=-3E-05x^3-0.003x^2+0.107x+2.598$	0.8683	$y=0.0253x^2-2.8253x+92.006$	0.8367	16.8

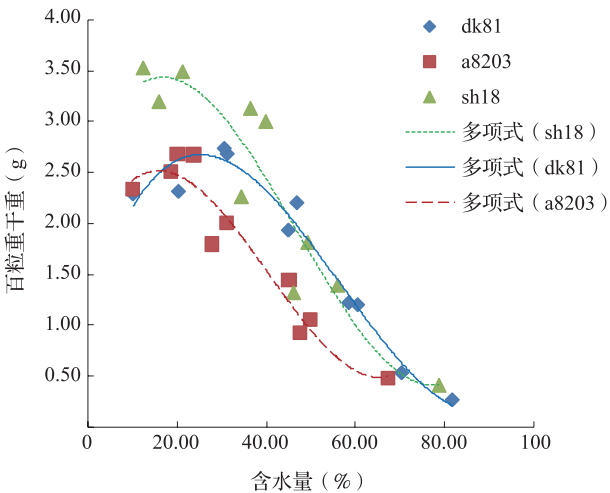


图 2 百粒重干重与籽粒含水量曲线

由表 9 和图 3 可知,dk81 和 a8203 有 3 个淀粉含量峰值,第 1 峰淀粉含量虽然最高,但粒重干物质太低没有生产意义,因此这两个品系取第 2 峰为有生产意义的最高值,峰值出现在开花后 28d,sh18 淀粉含量高峰出现在开花后 44d。当高粱品系 dk81 和 a8203 百粒重达到最大值的时候淀粉含量并不是最高,因此如果结合淀粉含量考虑收获期,dk81 和 a8203 应适当提前收获以保证较高的淀粉含量,而 sh18 淀粉含量呈现逐渐上升趋势,可以在粒重最大时适时收获。

结合图 3 淀粉含量曲线利用表 7 数学模型计算籽粒含水量范围: dk81 的含水量 25%~35%

表 8 高粱各品系穗部分层籽粒品质变化 (%)

品系	取样部位	品质	开花后天数(d)									
			9	12	16	19	24	27	31	36	41	46
dk81	上部	粗蛋白	10.15	8.59	9.22	8.90	8.63	8.51	9.17	10.11	8.55	8.30
		粗脂肪	3.25	3.62	4.83	4.74	5.33	5.27	5.17	4.57	6.35	5.90
		淀粉	67.51	80.67	65.80	68.99	66.26	66.12	65.29	67.81	65.89	65.94
		单宁	0	0	0.04	0.16	0.56	0.74	0.86	0.83	1.09	1.25
	中部	粗蛋白	10.12	8.83	7.99	8.62	8.30	8.11	9.16	10.35	9.25	8.80
		粗脂肪	3.68	3.37	4.30	3.97	4.49	4.99	4.24	4.94	5.56	5.06
		淀粉	75.50	82.09	71.08	74.08	75.09	76.02	76.47	71.22	70.68	73.30
		单宁	0	0	0.06	0	0.19	0.60	0.35	0.62	0.89	0.89
	下部	粗蛋白	19.15	10.83	7.99	8.37	8.35	7.65	9.26	10.55	9.16	7.78
		粗脂肪	1.30	0.71	4.30	4.42	5.09	6.86	5.31	7.33	6.37	6.21
		淀粉	12.88	50.62	71.08	69.30	67.50	64.60	65.59	63.09	65.10	65.05
		单宁	0	0.06	0.08	0.29	0.46	1.23	0.78	1.59	1.27	1.57
a8203	上部	粗蛋白	8.19	8.51	8.09	7.90	7.80	8.34	7.99	8.69	8.49	8.60
		粗脂肪	3.50	4.41	5.13	5.10	5.56	5.77	4.95	4.89	5.55	5.26
		淀粉	76.65	73.61	68.70	67.51	66.65	65.48	64.99	66.63	65.62	64.96
		单宁	0	0	0.14	0.26	0.63	0.76	0.89	0.59	0.65	0.95
	中部	粗蛋白	9.96	8.54	7.85	7.47	6.93	7.80	7.11	8.70	8.31	8.64
		粗脂肪	3.53	3.35	3.98	4.76	4.44	4.58	4.94	4.14	4.56	4.27
		淀粉	79.28	79.76	75.63	73.21	79.52	78.41	76.63	74.87	74.64	76.97
		单宁	0	0	0	0.13	0.05	0.16	0.21	0.09	0.20	0.16

表 8 (续)

品系	取样部位	品质	开花后天数(d)									
			9	12	16	19	24	27	31	36	41	46
sh18	下部	粗蛋白	7.41	7.86	7.17	6.86	6.41	7.43	6.49	7.87	7.88	8.53
		粗脂肪	0	3.90	3.75	4.55	6.12	6.02	5.63	5.65	5.67	6.09
		淀粉	44.00	76.25	76.37	72.13	69.39	66.99	68.27	68.06	66.62	64.30
		单宁	0	0	0	0.08	1.29	0.92	1.13	0.52	0.65	1.46
	上部	粗蛋白	6.63	8.00	8.00	7.80	7.44	10.84	8.88	9.07	9.48	9.40
		粗脂肪	4.12	4.25	4.27	4.18	3.63	4.21	4.21	4.22	4.22	4.03
		淀粉	71.61	70.62	67.96	67.28	67.75	64.12	65.29	64.89	64.16	65.28
		单宁	0.01	0.04	0.17	0.39	0.29	0.69	0.86	0.77	0.63	1.10
	中部	粗蛋白	7.72	8.44	7.92	7.45	7.38	10.74	9.00	8.75	9.45	10.44
		粗脂肪	4.13	3.79	4.61	4.32	4.48	3.42	3.08	3.50	2.63	2.94
		淀粉	71.86	71.81	68.78	72.27	69.74	73.24	76.33	72.46	77.95	76.58
		单宁	0	0	0.42	0.41	0.64	0.39	0.20	0.47	0.41	0.27
	下部	粗蛋白	6.13	7.99	7.22	7.02	7.01	9.67	8.07	8.13	9.00	10.12
		粗脂肪	0.51	4.27	4.44	5.11	5.18	4.27	4.36	4.50	4.28	4.18
		淀粉	57.50	71.11	69.90	68.21	67.44	65.97	69.07	66.32	65.98	64.94
		单宁	0	0	0.13	0.69	0.55	0.66	0.56	0.76	0.70	0.95

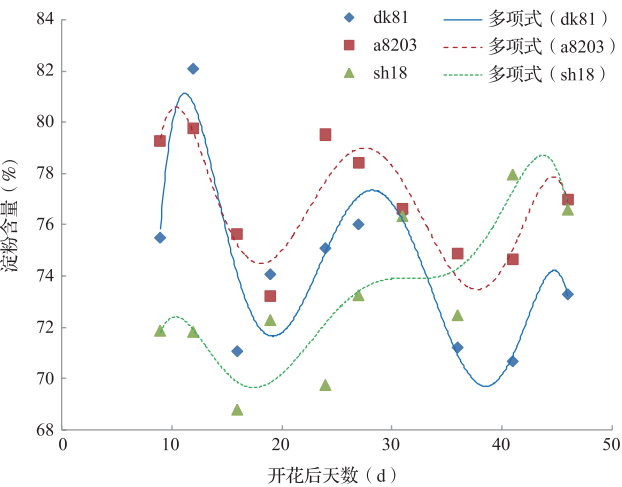


图 3 总淀粉含量与开花后天数曲线

时可以兼顾百粒重和淀粉含量; a8203 的含水量 16.0%~22.8% 时可以兼顾百粒重和淀粉含量; sh18 的含水量 16% 左右时收获可以兼顾百粒重和淀粉含量。

3 讨论

高粱的籽粒灌浆期是产量形成的重要阶段,对高粱籽粒灌浆动态的研究有助于明确高粱产量形成过程,有利于生产中高产群体创建,然而高粱的相关研究则比较少见。柯福来等^[1]研究认为高粱籽粒灌浆过程可以用 Logistic 曲线模拟;郝全军等^[7]研究发现,随着高粱籽粒成熟度的增加,其千粒重、淀粉含量逐渐提高;葛占宇等^[5]发现高粱总淀粉积累

表 9 各品系籽粒淀粉含量变化数学模型

品系	籽粒淀粉含量曲线	相关系数	适宜收获期 (d)	适宜收获期 淀粉含量 (%)	淀粉含量高峰 时间 (d)	最大淀粉 含量 (%)	最大粒重时淀粉 含量 (%)
dk81	$y=-2E-06x^6+0.0003x^5-0.0232x^4+0.7919x^3-14.256x^2+126.82x-355.14$	0.826	31	76.19	28	77.30	70.94
a8203	$y=-1E-06x^6+0.0002x^5-0.0149x^4+0.4922x^3-8.4906x^2+71.767x-152.36$	0.833	32	76.93	28	78.97	73.45
sh18	$y=-8E-07x^6+0.0001x^5-0.0083x^4+0.268x^3-4.5638x^2+38.19x-50.609$	0.720	39	75.76	44	78.69	75.76

速率均呈单峰曲线变化。

本研究以高粱盛花期形成籽粒为研究对象,在对高粱籽粒灌浆动态的研究中发现高粱中部籽粒干重与开花后天数符合三次增长曲线,这与袁剑平等^[12]、黄光正等^[13]在小麦上的研究结果非常相似,对于高粱穗部不同层次的灌浆研究发现,高粱穗部灌浆不完全同步,这与张强等^[14]在水稻上的部分结果相似。淀粉是高粱籽粒的主要成分,本研究对高粱籽粒淀粉含量测定发现,随着灌浆进行,淀粉含量呈现近似多峰曲线。淀粉含量的极值出现时间与籽粒干物质积累的最大值出现时间不完全重合,在籽粒干物质最大时提前几天收获能兼顾产量和淀粉含量。如果收获过晚会造成9%左右的粒重下降引起减产。

4 结论

在本研究中为了合理预测最佳收获期发现:籽粒含水量和中部籽粒干重符合三次方曲线关系。同一地区不同年份气候条件不同,即使是同一高粱品种,年度间籽粒脱水速度也有差异,但是自然风干条件下的最终籽粒含水量、百粒重相对稳定。生产中可以在灌浆期通过多次取样测量中部籽粒含水量与百粒重数据,结合最终籽粒含水量与百粒重数据构建三次方曲线函数,计算出最大百粒重时的含水量,再利用含水量与灌浆时间的近似线性关系对最佳收获期进行预测。

参考文献

- [1] 卢庆善. 高粱学. 北京:中国农业出版社,2001
- [2] 王树安. 作物栽培学各论. 北京:中国农业出版社,1994
- [3] 柳青山,周福平,梁笃,段冰,李团银. 糯高粱品种主要农艺性状与产量的灰色关联分析. 中国农学通报,2008,24(7): 478-481
- [4] 柯福来,朱凯,邹剑秋. 密度对高粱品种辽杂19群体籽粒灌浆的效应. 作物杂志,2016(5): 141-146
- [5] 葛占宇,马尚耀,成慧娟,严福忠,王立新,张姝,隋虹杰,潘映雪. 不同施氮水平对高粱籽粒淀粉积累规律的影响. 东北农业科学,2016,41(2): 25-29
- [6] 赵文博,张一中,范昕琦,张晓娟,聂萌恩,梁笃,郭琦,杨彬. 10份不同年代山西省主推高粱品种灌浆与脱水速率研究. 中国农学通报,2021,37(33): 15-22
- [7] 郝全军,隋虹杰. 高粱籽粒成熟度与养分积累及发芽的关系. 北方农业学报,2017,45(1): 14-17
- [8] 宁海龙. 田统试验与统计方法. 北京:科学出版社,2019
- [9] 余建英. 数据统计分析与SPSS应用. 北京:人民邮电出版社,2003
- [10] 张德丰. MATLAB R2015b数值计算方法. 北京:清华大学出版社,2017
- [11] 柯福来,朱凯,邹剑秋. 高粱不同胚乳类型籽粒淀粉积累特性研究. 辽宁农业科学,2016(1): 29-31
- [12] 袁剑平,王晨阳,高松洁,李克军,孙秀丽. 小麦最佳收获期形态指标的研究. 河南农业大学学报,1996(4): 17-21
- [13] 黄光正,朱明哲,天士杰,胡瑞法. 百农3217小麦灌浆规律及其影响粒重主要因素的研究. 百泉农专学报,1982(2): 1-8
- [14] 张强,李自超,傅秀林,吴长明,金京花. 不同株穗型水稻超高产品种叶绿素含量变化规律及籽粒灌浆动态研究. 作物学报,2005(9): 1198-1206

(收稿日期:2023-11-20)

(上接第106页)

- 性的变化. 植物生理学报,1982(2): 111-116
- [10] 赵小光,赵鹏涛,翟周平,尚毅,张雅蕾. 陕垦224在黄淮南部麦区适应性分析. 作物研究,2022,36(2): 112-116
 - [11] 李娜娜,李慧,裴艳婷,石玉华,田奇卓,谢连杰,王树亮,刘鑫,徐凤娇. 行株距配置对不同穗型冬小麦品种光合特性及产量结构的影响. 中国农业科学,2010,43(14): 2869-2878
 - [12] 江继顺,石玉,于振文,张永丽. 不同产量水平麦田小麦光合特性和¹³C同化物分配的差异. 山东农业科学,2023,55(1): 63-68
 - [13] 焦峰,贺海霞,任传军,于立河,翟瑞常. 不同施肥和密度水平对小麦干物质积累及产量的影响. 安徽农学通报,2013,19(8): 28-29,64
 - [14] 马泉,张玉雪,陶源,苏盛楠,李春燕,丁锦峰,朱敏,朱新开,郭文善. 春季不同时期低温对小麦光合特性和粒重形成的影响. 麦类作物学报,2022,42(2): 226-235
 - [15] 杨艳君,王宏富,郭平毅,王玉国,原向阳,邢国芳,邵东红,祁祥,

- 解丽丽,聂萌恩,郭俊,宁娜. 施肥和密度对张杂谷5号光合特性及产量的影响. 植物营养与肥料学报,2013,19(3): 566-576
- [16] 张明伟,王慧,董召娣,丁锦峰,李春燕,朱新开,封超年,郭文善. 扬麦系列品种植株抗倒性能的演变及与茎秆性状的关系. 麦类作物学报,2016,36(9): 1199-1208
 - [17] 卢杰,董连生,常成,司红起,马传喜. 种植密度对不同小麦品种产量构成及抗倒伏性的影响. 麦类作物学报,2021,41(1): 81-87
 - [18] 赵小光,张耀文,陈文杰,张雅蕾,王竹云,赵兴忠,侯君利,王丽萍,张新. 不同种植密度下甘蓝型油菜光合生理特性的差异. 西南农业学报,2019,32(7): 1531-1536
 - [19] 张耀文,赵小光,关周博,王学芳,侯君利,董育红,田建华,李殿荣,卢庆陶,卢从明. 油菜高光效育种的难点及解决策略. 西北农业学报,2018,27(1): 1-9

(收稿日期:2023-11-15)