

河南省不同年代小麦品种籽粒灌浆特性分析

朱灿灿, 张宝娜, 王翔, 张斌, 姜玉梅, 王同朝, 卫丽*

(河南农业大学 国家小麦工程技术研究中心, 河南 郑州 450002)

摘要: 为给小麦高产育种及生产提供理论依据, 以河南省小麦品种 9 次更新换代中的 11 个代表性品种为供试材料, 用 Logistic 方程拟合籽粒灌浆进程, 通过相关分析和通径分析对不同年代小麦品种籽粒灌浆特性进行了研究。结果表明: 河南省小麦品种 9 次更新换代过程中, 小麦千粒重呈逐渐增加的趋势, 最大达 53.64 g(豫麦 54); 随着小麦品种的更新换代, 平均灌浆速率(R) 增加, 灌浆持续时间(T) 延长, 籽粒干物质积累也呈增加的趋势。快增期的灌浆速率(R_2) 及灌浆持续时间(T_2) 与成熟时的理论千粒重(Y) 呈正相关; 品种更替过程中, 不同灌浆参数对千粒重作用的大小依次为: $R > T > T_2 > R_2$ 。因此, 在河南省生态条件下, 较快的平均灌浆速率和快增期灌浆速率是小麦高产育种的重要选择指标。

关键词: 河南省; 小麦品种; 灌浆特性; 千粒重

中图分类号: S512.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1004-3268(2014)04-0032-05

Analysis of Grain Filling Characteristics of Wheat Cultivars from Different Ages in Henan Province

ZHU Can-can, ZHANG Bao-na, WANG Xiang, ZHANG Bin, JIANG Yu-mei,

WANG Tong-chao, WEI Li*

(National Engineering Research Center for Wheat, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China)

Abstract: In order to provide a theoretical basis for the breeding and production of wheat, 11 representative wheat varieties from different ages in Henan province were selected to study the grain filling characteristics by the methods of Logistic equation, correlation and path analysis. The results showed that 1 000-grain weight presented an increasing trend in the nine times of wheat variety upgrading in Henan province, Yumai 54 being the largest and reaching to 53.64 g. The average filling rate(R), filling duration(T) and grain dry matter accumulation all exhibited the growing trends with the upgrading of wheat varieties. The filling rate(R_2) and duration(T_2) in fast increasing period were positively correlated with the theoretical grain weight at maturity(Y); the effect of different filling parameters on grain weight was $R > T > T_2 > R_2$. The high filling rates in average and in fast increasing period were the important selection indexes for high-yield breeding under the ecological condition of Henan province.

Key words: Henan province; wheat cultivars; grain filling characteristics; 1 000-grain weight

小麦是河南省主要夏粮作物, 常年播种面积在 530 万 hm^2 , 产量占全国小麦总产的 1/4。因此, 河南省小麦产量的高低对国家粮食安全至关重要。自 1949 年以来, 河南省小麦品种经历了 9 次更新换

代。前 3 次品种更新由于受到当时种植技术和自然条件的影响, 在产量和综合性状上都没有实质性突破, 单产始终维持在 1 000 kg/hm^2 。从第 4 次开始, 由于技术革新和生产条件的改善, 河南省小麦单产

收稿日期: 2013-12-11

基金项目: 国家“十二五”科技支撑计划项目(2012BAD04B07, 2012BAD14B08)

作者简介: 朱灿灿(1989-), 女, 河南开封人, 在读硕士研究生, 研究方向: 小麦春化发育的调控。E-mail: chongzhixiang@sina.com

* 通讯作者: 卫丽(1966-), 女, 河南商丘人, 研究员, 博士, 主要从事小麦发育生态研究。E-mail: weili-wtc@126.com

得到显著提高,突破了 $3\,000\text{ kg/hm}^2$ 。第7次以后,河南省小麦品种主要以本省培育的新品种为主,育成了一系列高产、稳产、抗逆、广适的品种,进一步提高了产量水平,使单产达到 $4\,000\text{ kg/hm}^2$ 以上。在小麦品质区划和优质小麦产业化的推动下,第8次和第9次品种更替,实现了小麦产量和质量同步提高的双突破^[1]。

近年来,河南省小麦产量增长趋势明显放缓,滞后于快速增长的社会需求^[2],2002—2007年,河南省小麦单产平均每年增长4.69%,2008—2012年,平均每年仅增长0.65%。在高产栽培条件下,穗粒质量是增产的关键。由于单位面积的穗数和穗粒数相对稳定,在此基础上提高千粒重对增产越来越重要^[3]。而灌浆特性决定了小麦的千粒重,直接影响产量^[4]。有关小麦粒质量与籽粒灌浆特性的关系研究已有较多报道^[5-8],但多限于灌浆过程籽粒干质量、鲜质量、体积变化的描述和数学模型的动态拟合,对于不同年代小麦品种不同阶段灌浆特性的研究较少。为此,选取河南省小麦品种更替过程中自20世纪60年代(第3次)至今大面积推广的品种,进行籽粒灌浆特性的研究分析,以期发现品种更替过程中籽粒灌浆特性的演变规律及其对增产的贡献,旨在为生产上提高小麦粒质量和育种提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 试验材料

试验选用11个小麦品种,见表1。

表1 供试小麦品种

品种更替次数	时间	供试品种
第9次	2002年至今	豫麦34、豫麦70、郑麦9023
第8次	1997—2001年	豫麦69、豫麦54、豫麦49
第7次	1993—1996年	豫麦21
第6次	1989—1992年	豫麦2号
第5次	1981—1988年	百农3217
第4次	1973—1980年	郑州761
第3次	1963—1972年	丰产3号

1.2 试验概况

试验于2012—2013年在河南农业大学科教园区进行。试验地土质为砂壤,0~20 cm土层土壤有机质含量为14.89 g/kg,全氮为0.79 g/kg,碱解氮为46.63 mg/kg,速效磷为64.32 mg/kg,速效钾为128 mg/kg。0~100 cm土层平均土壤容重为1.51 g/cm³,平均最大田间持水量为23.25%。每个供试品种种1个小区,小区长4 m,宽2.9 m,每个小区种

植12行,行距23 cm。2012年10月15日适期播种,基本苗为180万苗/hm²,小麦生育期内分别于越冬期、拔节期、灌浆期灌水3次,灌水量依当时墒情而定,于2013年6月1—9日依成熟先后分次收获。其他管理同一般大田。

1.3 测定项目及方法

小麦开花期每个品种选同一天开花、长势相似、无病虫害的100个单穗进行标记。花后5 d开始取样,以后每5 d取样一次,直至收获。每个品种每次取样10穗,用冰盒带回实验室,取每穗中部的小穗上第一、二花位籽粒10粒,每个品种共100粒。放入烘箱105℃下杀青30 min,之后80℃烘干至恒质量,称其干质量。

1.4 数据分析

对籽粒干质量进行 Logistic 方程 $y = k/(1 + ae^{-bx})$ 拟合^[6-7],以开花后天数(t)为自变量,千粒重(y)为因变量,其中 k 为最大千粒重, a 、 b 为待定系数。对 Logistic 方程求一阶导数,得灌浆速率方程: $V(t) = dy/dt = kabe^{-bt}/(1 + ae^{-bt})^2$ 。将灌浆持续时间 T 代入上式,得平均灌浆速率 R 。对 Logistic 方程求二阶导数: $d^2y/d^2t = kabe^{-bt}(abe^{-bt} - b)/(1 + ae^{-bt})^2$,得到方程的极值点:达到最大灌浆速率的时间 $T_{\max} = \ln a/b$,最大灌浆速率 $R_{\max} = V_{\max} = kb/4$ 。对 Logistic 方程求三阶导数得曲线的2个拐点: t_1 和 t_2 , $T_1 = t_1$ 表示灌浆渐增期的持续时间, $T_2 = t_2 - t_1$ 表示灌浆快增期的持续时间, $T_3 = T - t_2$ 表示灌浆缓增期的持续时间, R_1 、 R_2 、 R_3 分别表示灌浆渐增期、快增期、缓增期的灌浆速率。

利用 Excel 软件对数据进行分析,用相关分析、通径分析、多元线性回归和逐步回归分析研究灌浆相关参数与小麦粒质量的关系^[9]。

2 结果与分析

2.1 不同年代小麦品种灌浆过程中千粒重的变化

供试小麦品种灌浆过程中籽粒干质量呈“S”型曲线增长,灌浆速度呈现“慢—快—慢”3个阶段,灌浆初期籽粒干质量增长缓慢,中期灌浆速率最快,该期也是粒质量增加的关键时期,到灌浆后期籽粒干质量的增加又减慢,直至成熟。从图1可看出,供试品种之间的籽粒干质量有很大差异。成熟时千粒重最大的是豫麦54,达到53.64 g,其次是豫麦34、豫麦70、豫麦49、豫麦69、郑麦9023、郑州761、豫麦21、丰产3号、豫麦2号,最小的是百农3217,仅为35.13 g。从第3次到第8次品种更替小麦籽粒干质量增加较快,而第9次较第8次千粒重增长缓慢。

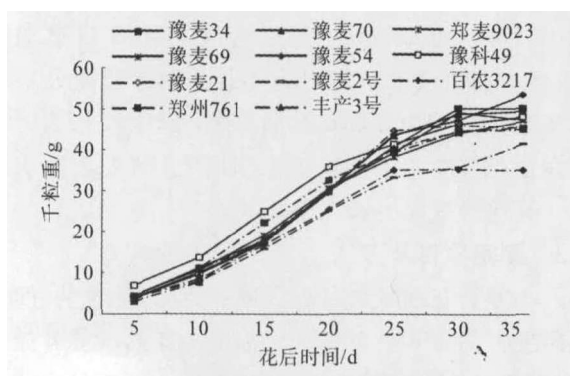


图 1 不同小麦品种千粒重变化

2.2 不同年代小麦品种籽粒灌浆模型

小麦灌浆进程可以用 Logistic 方程 $y=k/(1+ae^{-bx})$ 来拟合(表 2)。对小麦花后时间与粒质量之间进行 Logistic 生长曲线分析,结果表明,各方程的多元决定系数(R^2)均大于 0.950,经 F 测验均达极显著水平,拟合效果良好,说明该方程能够真实反映小麦籽粒灌浆的规律。 k 是千粒重最大生长量上限,即理论上可能达到的最大值。从表 2 来看,豫麦 54、豫麦 34、豫麦 70 的 k 值均超过 50,分别为 57.003、52.614、51.615,其他依次为豫麦 69、豫麦 49、郑麦 9023、豫麦 21、郑 761、丰产 3 号、豫麦 2 号, k 值最小的为百农 3217,仅为 35.824。

表 2 不同小麦品种籽粒灌浆 Logistic 方程参数

品种	k	a	b	R^2
豫麦 34	52.614	54.235	0.232	0.977**
豫麦 70	51.615	52.568	0.233	0.988**
郑麦 9023	48.500	43.452	0.219	0.971**
豫麦 69	49.356	67.167	0.276	0.980**
豫麦 54	57.003	44.446	0.210	0.953**
豫麦 49	49.326	20.293	0.203	0.982**
豫麦 21	46.827	45.486	0.252	0.967**
豫麦 2 号	43.844	37.206	0.203	0.973**
百农 3217	35.824	34.782	0.252	0.950**
郑州 761	46.402	32.387	0.224	0.993**
丰产 3 号	46.033	55.945	0.244	0.997**

注: * 表示 $P<0.05$, ** 表示 $P<0.01$ 。表 4 同。

2.3 不同年代小麦品种籽粒灌浆参数分析

根据 Logistic 方程,可将籽粒灌浆过程划分为渐增期、快增期和缓增期 3 个阶段。由表 3 可以看出,渐增期灌浆速率较慢,快增期灌浆速率加快,缓增期又减慢,3 个阶段的灌浆速率表现为 $R_2>R_1>R_3$ 。这与籽粒干质量呈“S”型曲线变化的趋势相一致。

表 3 不同小麦品种籽粒灌浆参数

品种	T	T_1	R_1	T_2	R_2	T_3	R_3	T_{\max}	R_{\max}	R
豫麦 34	38	11.54	1.05	11.36	2.61	15.10	0.69	17.22	3.05	1.38
豫麦 70	38	11.37	0.90	11.32	2.75	15.32	0.65	17.02	3.00	1.36
郑麦 9023	38	11.20	0.88	12.02	2.33	14.78	0.69	17.21	2.66	1.28
豫麦 69	38	10.46	0.90	9.54	3.09	18.00	0.57	15.23	3.41	1.30
豫麦 54	38	11.80	1.05	12.55	2.53	13.65	0.87	18.08	2.99	1.50
豫麦 49	33	8.35	1.18	12.98	2.19	11.67	0.83	14.83	2.50	1.49
豫麦 21	35	9.92	1.01	10.45	2.50	14.64	0.70	15.14	2.95	1.34
豫麦 2 号	36	11.30	0.78	12.95	1.96	11.75	0.73	17.78	2.23	1.22
百农 3217	35	8.87	0.88	10.46	1.91	15.67	0.50	14.10	2.25	1.02
郑州 761	33	9.66	1.08	11.77	2.16	11.57	0.83	15.54	2.60	1.41
丰产 3 号	36	11.08	0.86	10.78	2.50	14.13	0.64	16.47	2.81	1.28

11 个供试品种的灌浆相关参数有着明显差异:(1)持续灌浆时间(T)在品种更替过程中得到延长。豫麦 49 和郑州 761 灌浆仅持续了 33 d,百农 3217 和豫麦 21 灌浆持续 35 d,丰产 3 号和豫麦 2 号灌浆持续 36 d,豫麦 69、豫麦 54、豫麦 34、豫麦 70、郑麦 9023 灌浆持续时间均达到 38 d,高于前几次更替的品种。(2)品种更替过程中达到最大灌浆速率的时间(T_{\max})延迟。丰产 3 号、郑州 761、百农 3217 分别在灌浆 16 d、16 d、14 d 达到灌浆最大速率(R_{\max}),

第 9 次的 3 个品种豫麦 34、豫麦 70、郑麦 9023 均是在灌浆 17 d 后才达到最大灌浆速率。(3)品种更替过程中提高了最大灌浆速率。第 8、9 代品种的最大灌浆速率平均为 2.94 g/d,第 3、4、5、6 代品种最大灌浆速率平均仅为 2.47 g/d。

2.4 籽粒灌浆参数的相关性分析

对灌浆参数与千粒重数据进行逐步多元回归,得到最优回归方程: $Y=-49.39+1.62T-0.69T_2-1.96R_2+38.4R$ 。从不同灌浆阶段参数与理论千

粒重的相关性分析结果(表 4)可以看出, T 、 R 、 T_2 、 R_2 与成熟时的理论千粒重 Y 呈正相关。其中 R 、 R_2 与 Y 呈显著正相关, r 分别为 0.834、0.670。因此, 在河南小麦品种更替过程中灌浆速率, 尤其是平均灌浆速率和快增期灌浆速率对提高粒质量、实现增产起着决定性的作用。

表 4 小麦籽粒灌浆参数与千粒重的相关性

项目	T	T_2	R_2	R	Y
T	1.000				
T_2	-0.206	1.000			
R_2	0.621*	-0.522	1.000		
R	-0.029	0.435	0.364	1.000	
Y	0.524	0.218	0.670*	0.834**	1.000

为了进一步明确籽粒灌浆参数对千粒重作用的主次位置, 对以上 5 个参数与千粒重进行通径分析(表 5)。从表 5 可以看出, 不同灌浆参数对千粒重作用的大小依次为: $R > T > T_2 > R_2$ 。平均灌浆速率通过其他灌浆参数对千粒重的间接通径系数都很大, 说明平均灌浆速率对千粒重的影响很大程度上是通过影响其他灌浆参数来实现的; 平均灌浆速率通过快增期灌浆持续时间对千粒重的间接通径系数为 0.418 2, 通过快增期的灌浆速率对千粒重的间接通径系数为 0.349 5, 可见提高快增期的灌浆速率、延长快增期的持续灌浆时间可有效提高千粒重。而灌浆持续时间对千粒重的影响主要是靠自身的作用, 另外也通过快增期灌浆速率对千粒重产生一定程度上的间接作用。

表 5 小麦籽粒灌浆参数与千粒重的通径系数

项目	$T \rightarrow Y$	$T_2 \rightarrow Y$	$R_2 \rightarrow Y$	$R \rightarrow Y$	总和
T	<u>0.602 9</u>	-0.124 3	0.374 4	-0.017 7	0.835 3
T_2	0.029 6	<u>-0.143 4</u>	0.074 9	-0.062 4	-0.101 4
R_2	-0.079 9	0.067 2	<u>-0.128 6</u>	-0.046 8	-0.188 2
R	-0.028 2	0.418 2	0.349 5	<u>0.960 6</u>	1.700 1

注: 表中划线的数据为直接通径系数, 其余为间接通径系数。

3 结论与讨论

小麦籽粒灌浆特性是千粒重形成的决定性因素。大量研究表明, 小麦籽粒灌浆速率主要受遗传控制, 而籽粒灌浆持续时间主要由环境因子(特别是温度)调控^[10-12]。关于灌浆参数与粒质量的关系, 由于不同研究者使用的材料以及品种栽培管理条件的不同, 因而不同研究得出的结论有一定的差异。灌浆速率和灌浆过程持续时间与粒质量的关系, 目前尚有争议^[13-15]。蔡庆生等^[16]和吕志红

等^[17]的研究一致认为, 灌浆持续期时间与粒质量关系不大, 但两者结论也有差异, 前者认为灌浆速率与粒质量关系最大, 后者认为快增期的持续时间对千粒重的作用最大。

本研究表明, 河南省小麦品种更替过程中千粒重逐渐增加, 第 8 代品种豫麦 54 的千粒重达 53.64 g, 为最大, 第 5 代品种百农 3217 的千粒重最小, 仅为 35.13 g。随着品种更替, 小麦品种的平均灌浆速率及灌浆持续时间均明显增大, 平均灌浆速率与理论千粒重呈极显著正相关, r 为 0.834。河南省冬小麦生长的“两长一短”生态特点, 决定本区域高产品种的生态适应性应具有较快的灌浆速率和较长的灌浆持续时间, 以确保高产品种充分调运有限的有机营养物质, 增加粒质量。由于小麦是夏收作物, 种植制度还要考虑下茬作物, 因此, 提高粒质量应首先考虑通过提高灌浆速率来实现, 把平均灌浆速率作为品种选育的重要指标。同时快增期对粒质量具有决定性作用, 快增期灌浆速率和灌浆持续时间与理论千粒重呈正相关, 且快增期灌浆速率达到显著水平; 平均灌浆速率、灌浆持续时间对千粒重的影响除靠自身的作用外, 也通过快增期灌浆速率对千粒重有一定程度上的间接作用。从籽粒发育角度考虑, 籽粒生长的渐增期主要是籽粒形成和胚乳细胞分裂阶段, 此阶段产量库容基本形成; 小麦籽粒生长的快增期阶段, 干物质积累速度较快, 植株从其他营养器官向库容中调运同化产物, 此阶段是保证高产的基础^[18-20]。因此, 在河南省麦区确定育种策略时, 还应将快增期籽粒灌浆速率作为小麦高产品种的重要选择指标之一。通过提高灌浆速率尤其是快增期的灌浆速率, 可以保证籽粒干物质迅速积累, 从而躲过后期病虫害及干热风危害, 减轻环境因素对小麦产量的影响。

参考文献:

[1] 宋家永. 河南小麦品种演变分析[J]. 种业导刊, 2008 (6): 9-11.

[2] 何中虎, 夏先春, 陈新民, 等. 中国小麦育种进展与展望[J]. 作物学报, 2011, 37(2): 202-215.

[3] 段国辉, 高海涛, 张学品, 等. 河南省近 15 年小麦区试高产品种产量构成分析[J]. 河南农业科学, 2006(10): 38-40.

[4] 郭文善. 小麦栽培与生理[M]. 南京: 东南大学出版社, 1992.

[5] 王志强, 周晓明, 申占保, 等. 播期对不同专用型小麦籽粒灌浆特征参数和产量的影响[J]. 河南农业科学, 2003(4): 4-6.

(下转第 39 页)

3 结论与讨论

抗旱指数既能反映不同种植条件下品种的稳产性,又能体现品种在旱地条件下的产量水平,是目前玉米抗旱性鉴定指标中最为直观、最为可靠、最接近生产实际、最适宜于抗旱育种和区试工作采用的综合性指标。从品种的抗旱指数和抗旱级别来看,伟科702、洛玉8号、浚单29的抗旱性强,抗旱指数高,丰产性好,应加大推广应用力度;对照郑单958无论水区、旱区产量均处于中等偏上位置,仍具有相当高的推广价值;鑫玉16、中科4号的抗旱性弱,抗旱指数低,产量水平有限;从当前主栽品种的平均抗旱指数来看,其小于对照0.04,说明品种更新换代速度太慢,应加快高抗旱性指数品种的推广应用。

不同抗旱性品种的差异可以通过穗部性状和某些形态学指标来初步判断。随着不同品种抗旱性的降低,穗部性状差异主要表现在穗长、行粒数和百粒质量指标上,且水、旱差值呈增加趋势,其中百粒质量增加幅度最大。随着品种抗旱性的降低,品种株高、穗位高和茎粗平均水、旱差值增加,棒三叶面积平均水、旱差值降低。这与宋凤斌等^[2]认为抗旱性

较强的杂交种叶面积衰减幅度较小并不冲突。因此,品种抗旱性可以通过穗部性状和形态学指标表现出来,同时还需要在以后的试验中加入其他生理生态指标,以更好地判断不同玉米品种的抗旱性。

参考文献:

- [1] 赵洪兵,黄亚群.不同玉米杂交种抗旱性比较及抗旱性鉴定指标的研究[J].华北农学报,2007,22(增刊):66-70.
- [2] 宋凤斌,徐世昌.玉米抗旱性鉴定指标的研究[J].中国生态农业学报,2004,12(1):127-129.
- [3] 兰巨生,胡福顺,张景瑞,等.作物抗旱指数的概念和统计方法[J].华北农学报,1990,5(2):20-25.
- [4] 刘桂茹.小麦抗旱性研究[J].中国农学通报,1996,12(4):34-36.
- [5] 栗雨勤,张文英,谢俊良.主要作物新品种抗旱性鉴定指标的研究与应用[J].华北农学报,2006,21(增刊):29-33.
- [6] 张文英,栗雨勤,杨国航,等.夏玉米苗期抗旱性鉴定指标的研究[J].玉米科学,2006,14(5):87-90.
- [7] 倪郁,李唯.作物抗旱机制及其指标的研究进展与现状[J].甘肃农业大学学报,2001,36(1):14-22.
- (上接第35页)
- [6] 李科江,张西江,刘文菊,等.不同栽培措施下冬小麦灌浆模拟研究[J].华北农学报,2001,16(2):70-74.
- [7] 韩占江,郝庆炉,吴玉娥,等.小麦籽粒灌浆参数变异及与粒重的相关性分析[J].种子,2008,27(6):27-30.
- [8] 宋羽,赵振峰,朱家辉,等.小麦籽粒灌浆参数与粒重的相关及通径分析[J].新疆农业科学,2006,43(2):125-127.
- [9] 任红松,朱家辉,杨斌,等.EXCEL在通径分析中的应用[J].农业网络信息,2006(3):90-92.
- [10] Wiegand C L, Cuellar J A. Duration of grain filling and kernel weight of wheat as effected by temperature [J]. Crop Sci,1981,21(1):95-101.
- [11] Zeng Z, Pang J, Zhou G, et al. Grain filling properties of winter wheat varieties in northern part of China [J]. Acta Agronomica Sinica,1996,22(6):720-728.
- [12] Brocklehurst P A. Factors controlling grains weight in wheat [J]. Nature,1977,266:348-349.
- [13] 段国辉,高海涛,张学品,等.黄淮麦区不同生态型小麦籽粒灌浆特性分析[J].江苏农业科学,2008(2):26-28.
- [14] 冯素伟,胡铁柱,李淦,等.不同小麦品种籽粒灌浆特性分析[J].麦类作物学报,2009,29(4):643-646.
- [15] 张晓陇.小麦品种籽粒灌浆研究[J].作物学报,1982,8(2):87-93.
- [16] 蔡庆生,吴兆苏.小麦籽粒生长各阶段干物质积累量与粒重的关系[J].南京农业大学学报,1993,16(1):27-32.
- [17] 吕志红,李栋梁.不同小麦品种籽粒灌浆特性分析[J].中国种业,2013(3):53-54.
- [18] 李世清,邵明安,李紫燕,等.小麦籽粒灌浆特征及影响因素的研究进展[J].西北植物学报,2003,23(11):2031-2039.
- [19] 孙立学.优质小麦高产栽培技术[J].现代农业科技,2012(24):28,30.
- [20] 刘长青,朱艳芳,刘爱青,等.小麦新品种数量性状的典型相关与通径分析[J].现代农业科技,2012(13):23-24,31.