

**Appendix A** Loci associated with the wheat collection grain filling-related traits and the percentage of phenotypic variation explained (PVE).

Trait <sup>a)</sup>	Env <sup>b)</sup>	Marker	Chr	Pos <sup>c)</sup>	P-value	PVE%
GFR <sub>1</sub>	E1	<i>IWB9462</i>	2B	76	4.31×10 <sup>-4</sup>	7.79
	E2	<i>IWA1301</i>	5A	43	3.18×10 <sup>-4</sup>	6.96
	E3	<i>IWB44469</i>	5A	54	3.75×10 <sup>-6</sup>	11.27
		<i>IWB66334</i>	6A	85	8.27×10 <sup>-6</sup>	10.41
		<i>IWB5968</i>	4A	109	1.02×10 <sup>-5</sup>	10.19
		<i>IWB32560</i>	3B	142	1.47×10 <sup>-5</sup>	10.01
	AE	<i>IWB43987</i>	1B	63	3.26×10 <sup>-6</sup>	11.58
		<i>IWB21616</i>	3A	15	4.49×10 <sup>-5</sup>	8.67
		<i>IWB33063</i>	5B	110	6.37×10 <sup>-5</sup>	8.3
		<i>IWB40518</i>	6A	41	6.52×10 <sup>-5</sup>	8.28
GFR <sub>2</sub>	E1	<i>IWA8097</i>	5B	93	1.31×10 <sup>-4</sup>	8.27
		<i>IWB46363</i>	5B	93	2.10×10 <sup>-4</sup>	7.08
		<i>IWB5773</i>	5B	112	2.64×10 <sup>-4</sup>	6.92
	E2	<i>IWA4726</i>	5B	182	2.74×10 <sup>-4</sup>	8.22
		<i>IWB142</i>	5B	182	2.74×10 <sup>-4</sup>	8.22
		<i>IWB36613</i>	5B	177	4.22×10 <sup>-4</sup>	7.82
		<i>IWB12805</i>	5B	182	4.69×10 <sup>-4</sup>	7.59
	E3	<i>IWA6986</i>	6A	79	4.04×10 <sup>-4</sup>	6.4
		<i>IWB26244</i>	6A	79	4.04×10 <sup>-4</sup>	6.4
		<i>IWB62261</i>	6A	74	5.10×10 <sup>-4</sup>	6.17
	AE	<i>IWB42945</i>	2A	74	1.39×10 <sup>-4</sup>	7.44
		<i>IWB43997</i>	2A	75	4.14×10 <sup>-4</sup>	6.57
		<i>IWB14964</i>	3B	52	8.81×10 <sup>-4</sup>	5.65
		<i>IWB50540</i>	5A	8	9.85×10 <sup>-4</sup>	5.5
GFR <sub>3</sub>	E2	<i>IWB22695</i>	5D	81	1.30×10 <sup>-4</sup>	8.57
		<i>IWB26775</i>	6B	39	3.66×10 <sup>-4</sup>	7.34
		<i>IWA4115</i>	4B	87	7.74×10 <sup>-4</sup>	7.56
		<i>IWA4914</i>	5A	59	8.18×10 <sup>-4</sup>	6.44

		<i>IWB61293</i>	5A	59	$8.18 \times 10^{-4}$	6.44
	E3	<i>IWB48318</i>	7B	171	$2.25 \times 10^{-4}$	7.13
		<i>IWB1438</i>	7B	3	$2.36 \times 10^{-4}$	6.95
		<i>IWB29159</i>	1B	78	$3.13 \times 10^{-4}$	6.68
		<i>IWB31909</i>	1B	78	$3.13 \times 10^{-4}$	6.68
		<i>IWB9292</i>	1B	137	$3.35 \times 10^{-4}$	7.54
	AE	<i>IWB8156</i>	2B	153	$1.00 \times 10^{-6}$	12.56
		<i>IWA692</i>	2B	153	$2.01 \times 10^{-6}$	11.81
		<i>IWB38530</i>	2B	153	$2.01 \times 10^{-6}$	11.81
		<i>IWB54751</i>	2B	153	$2.01 \times 10^{-6}$	11.81
		<i>IWB54752</i>	2B	153	$2.01 \times 10^{-6}$	11.81
GFR <sub>4</sub>	E1	<i>IWB466</i>	3A	76	$2.44 \times 10^{-4}$	6.94
		<i>IWB53847</i>	3A	76	$2.44 \times 10^{-4}$	6.94
		<i>IWB23316</i>	7A	228	$2.61 \times 10^{-4}$	6.88
		<i>IWB58600</i>	7B	147	$2.61 \times 10^{-4}$	6.88
		<i>IWB58601</i>	7B	155	$2.61 \times 10^{-4}$	6.88
		<i>IWB49080</i>	7D	208	$2.61 \times 10^{-4}$	6.88
	E3	<i>IWB42054</i>	1B	6	$3.30 \times 10^{-6}$	13.27
		<i>IWB32258</i>	2B	91	$1.30 \times 10^{-6}$	14.31
		<i>IWA5050</i>	3A	47	$3.79 \times 10^{-6}$	12.98
		<i>IWB54481</i>	3A	93	$7.61 \times 10^{-6}$	12.12
		<i>IWA3196</i>	5A	27	$1.22 \times 10^{-7}$	17.34
		<i>IWA6463</i>	5A	27	$1.14 \times 10^{-6}$	14.47
	AE	<i>IWB38726</i>	1A	46	$1.15 \times 10^{-5}$	10.1
		<i>IWB27092</i>	7D	23	$8.43 \times 10^{-5}$	7.95
<i>IWB45363</i>		1B	161	$1.37 \times 10^{-4}$	7.41	
<i>IWB36840</i>		1D	165	$1.37 \times 10^{-4}$	7.41	
<i>IWB17619</i>		3A	15	$1.47 \times 10^{-4}$	7.42	
GFR <sub>mean</sub>	E1	<i>IWB24812</i>	4B	104	$2.43 \times 10^{-6}$	14.41
		<i>IWA758</i>	3B	14	$2.46 \times 10^{-6}$	14.94

---

		<i>IWB51214</i>	3B	14	$5.04 \times 10^{-6}$	13.4
		<i>IWB36617</i>	4A	137	$3.81 \times 10^{-6}$	9.97
		<i>IWB64352</i>	4A	137	$3.81 \times 10^{-6}$	9.97
		<i>IWB6766</i>	1D	68	$8.08 \times 10^{-6}$	11.15
	E2	<i>IWB55070</i>	1A	156	$1.73 \times 10^{-6}$	13.72
		<i>IWA758</i>	3B	14	$3.10 \times 10^{-6}$	11.34
		<i>IWB24812</i>	4B	104	$6.35 \times 10^{-5}$	9.64
		<i>IWB6766</i>	1D	68	$8.55 \times 10^{-5}$	10.87
	E3	<i>IWB36585</i>	1B	31	$2.88 \times 10^{-10}$	22.74
		<i>IWB11781</i>	1D	165	$2.29 \times 10^{-6}$	12.16
		<i>IWB7073</i>	3A	141	$2.34 \times 10^{-6}$	12.12
		<i>IWB50625</i>	3A	146	$3.79 \times 10^{-6}$	11.58
		<i>IWB12516</i>	3A	138	$7.34 \times 10^{-6}$	10.92
	AE	<i>IWB67689</i>	6B	119	$5.00 \times 10^{-6}$	10.78
		<i>IWB72634</i>	6B	119	$5.00 \times 10^{-6}$	10.78
		<i>IWB46894</i>	6B	120	$5.00 \times 10^{-6}$	10.78
		<i>IWB66697</i>	6B	120	$5.00 \times 10^{-6}$	10.78
		<i>IWB66699</i>	6B	120	$5.00 \times 10^{-6}$	10.78
GFR <sub>max</sub>	E1	<i>IWB56922</i>	4A	49	$6.53 \times 10^{-5}$	9.04
		<i>IWA3323</i>	5A	113	$8.07 \times 10^{-5}$	8.85
		<i>IWB19310</i>	7D	144	$9.63 \times 10^{-5}$	8.51
		<i>IWB49430</i>	7B	77	$9.64 \times 10^{-5}$	8.6
	E2	<i>IWB7662</i>	6B	98	$5.63 \times 10^{-6}$	11.69
		<i>IWB53299</i>	1B	21	$6.94 \times 10^{-6}$	11.45
		<i>IWB780</i>	5D	52	$9.79 \times 10^{-6}$	11.19
		<i>IWB66385</i>	5A	48	$2.00 \times 10^{-5}$	10.24
		<i>IWB1040</i>	5A	48	$2.96 \times 10^{-5}$	9.8
		<i>IWA5528</i>	5A	49	$2.96 \times 10^{-5}$	9.8
		<i>IWB64118</i>	3B	53	$3.21 \times 10^{-5}$	9.72
	E3	<i>IWB13069</i>	6A	72	$3.39 \times 10^{-4}$	6.93

---

---

		<i>IWB10098</i>	6A	72	$4.80 \times 10^{-4}$	6.51
		<i>IWA5589</i>	6A	72	$5.21 \times 10^{-4}$	6.41
		<i>IWA6654</i>	6A	72	$5.21 \times 10^{-4}$	6.41
		<i>IWB42573</i>	6A	72	$5.21 \times 10^{-4}$	6.41
		<i>IWB59901</i>	6A	72	$5.21 \times 10^{-4}$	6.41
	AE	<i>IWB35850</i>	2B	83	$7.35 \times 10^{-4}$	5.59
		<i>IWB71344</i>	6A	138	$8.49 \times 10^{-4}$	5.45
		<i>IWB48328</i>	6D	23	$4.58 \times 10^{-6}$	10.58
GFD	E1	<i>IWB9277</i>	2D	83	$6.03 \times 10^{-7}$	13.25
		<i>IWB26674</i>	2D	99	$3.97 \times 10^{-6}$	11.14
		<i>IWB27273</i>	2D	103	$4.03 \times 10^{-6}$	11.12
		<i>IWB63893</i>	4B	35	$7.66 \times 10^{-4}$	5.78
		<i>IWA8537</i>	5A	75	$9.17 \times 10^{-5}$	7.89
		<i>IWA2333</i>	6A	85	$1.32 \times 10^{-5}$	9.88
		<i>IWB71432</i>	6B	5	$1.25 \times 10^{-5}$	9.94
		<i>IWB71433</i>	6B	5	$1.25 \times 10^{-5}$	9.94
		<i>IWB71435</i>	6B	5	$1.25 \times 10^{-5}$	9.94
		<i>IWB71436</i>	6B	5	$1.25 \times 10^{-5}$	9.94
	E3	<i>IWB49600</i>	2D	12	$1.48 \times 10^{-4}$	7.35
		<i>IWB7605</i>	2B	163	$9.35 \times 10^{-6}$	10.23
		<i>IWB67689</i>	6B	119	$2.93 \times 10^{-5}$	9.04
		<i>IWB72634</i>	6B	119	$2.93 \times 10^{-5}$	9.04
		<i>IWB46894</i>	6B	120	$2.93 \times 10^{-5}$	9.04
	AE	<i>IWB66697</i>	6B	120	$2.93 \times 10^{-5}$	9.04
		<i>IWB66699</i>	6B	120	$2.93 \times 10^{-5}$	9.04
		<i>IWB54402</i>	6B	121	$2.93 \times 10^{-5}$	9.04
		<i>IWB66700</i>	6B	121	$2.93 \times 10^{-5}$	9.04
		<i>IWB68750</i>	6B	121	$2.93 \times 10^{-5}$	9.04
		<i>IWB58434</i>	6B	119	$3.26 \times 10^{-5}$	8.97
		<i>IWB10767</i>	6A	141	$3.46 \times 10^{-5}$	9.03

---

---

		<i>IWB9277</i>	2D	83	$4.32 \times 10^{-5}$	8.69
		<i>IWB61727</i>	2B	161	$9.75 \times 10^{-5}$	7.85
		<i>IWB26674</i>	2D	99	$1.09 \times 10^{-4}$	7.71
KL	E1	<i>IWB41019</i>	2D	37	$5.90 \times 10^{-6}$	10.94
		<i>IWB72009</i>	4B	61	$3.03 \times 10^{-5}$	9.4
		<i>IWB73809</i>	2B	103	$4.15 \times 10^{-5}$	8.74
		<i>IWA1920</i>	7A	42	$4.65 \times 10^{-5}$	8.65
	E2	<i>IWB54277</i>	1A	35	$6.96 \times 10^{-5}$	8.21
		<i>IWA1842</i>	7A	128	$2.41 \times 10^{-4}$	6.95
		<i>IWB623</i>	7A	128	$2.41 \times 10^{-4}$	6.95
	E3	<i>IWB20587</i>	1A	70	$2.65 \times 10^{-4}$	6.87
		<i>IWB36344</i>	1B	95	$5.12 \times 10^{-4}$	6.76
		<i>IWB65711</i>	1B	95	$5.12 \times 10^{-4}$	6.76
		<i>IWA4726</i>	5B	182	$5.14 \times 10^{-4}$	6.7
	AE	<i>IWA4826</i>	5B	182	$3.40 \times 10^{-5}$	8.91
		<i>IWB142</i>	5B	182	$3.40 \times 10^{-5}$	8.91
		<i>IWB12805</i>	5B	182	$4.05 \times 10^{-5}$	8.75
<i>IWB43700</i>		5B	97	$2.58 \times 10^{-4}$	6.86	
TKW	E1	<i>IWB3132</i>	5A	88	$5.50 \times 10^{-4}$	6.93
		<i>IWB7528</i>	5A	116	$6.53 \times 10^{-4}$	7.57
		<i>IWA6673</i>	6D	9	$4.68 \times 10^{-4}$	7.26
	E2	<i>IWA2806</i>	4B	70	$5.60 \times 10^{-4}$	9.14
		<i>IWA7795</i>	5B	62	$5.37 \times 10^{-5}$	8.85
		<i>IWA5081</i>	2B	131	$7.15 \times 10^{-5}$	8.59
		<i>IWB64093</i>	1B	98	$4.62 \times 10^{-4}$	6.61
	E3	<i>IWB7408</i>	7B	171	$5.30 \times 10^{-4}$	6.68
		<i>IWB9590</i>	4A	38	$5.91 \times 10^{-5}$	9.17
		<i>IWB9292</i>	1B	137	$6.80 \times 10^{-4}$	8.34
		<i>IWB11820</i>	1B	63	$6.68 \times 10^{-7}$	12.98
		<i>IWB38258</i>	1B	63	$7.27 \times 10^{-7}$	12.87

---

	<i>IWB29275</i>	1B	63	$1.86 \times 10^{-6}$	11.83
	<i>IWB23316</i>	7A	228	$4.47 \times 10^{-6}$	10.91
	<i>IWA5081</i>	2B	131	$1.99 \times 10^{-5}$	9.95
	<i>IWA7795</i>	5B	62	$3.63 \times 10^{-5}$	9.27
	<i>IWA3413</i>	5A	56	$5.11 \times 10^{-5}$	8.9
	<i>IWA3647</i>	5A	56	$5.11 \times 10^{-5}$	8.9
	<i>IWB35138</i>	5A	56	$6.85 \times 10^{-5}$	8.58
	<i>IWA6515</i>	5A	56	$6.85 \times 10^{-5}$	8.58
AE	<i>IWB58600</i>	7B	147	$4.47 \times 10^{-6}$	10.91
	<i>IWB58601</i>	7B	155	$4.47 \times 10^{-6}$	10.91
	<i>IWB49080</i>	7D	208	$4.47 \times 10^{-6}$	10.91
	<i>IWB61004</i>	1B	61	$8.01 \times 10^{-6}$	10.34
	<i>IWB29737</i>	4A	153	$3.02 \times 10^{-4}$	6.82

<sup>1)</sup> Pos, Position

<sup>2)</sup> GFR<sub>1</sub>, GFR<sub>2</sub>, GFR<sub>3</sub>, and GFR<sub>4</sub>, grain-filling rate at 9, 18, 27 and 36 days after flowering, respectively; GFR<sub>mean</sub>, the average grain-filling rate; GFR<sub>max</sub>, the highest filling rate; GFD, the grain-filling duration; KL, kernel length; KW, kernel width; KT, kernel thickness; TKW, thousand kernel weight

<sup>3)</sup> E1, E2, E3, Tai'an 2014–2015, 2015–2016, and 2016–2017, respectively; AE, the average data of three environments.