

[文章编号] 1000-2782(1999)06-0038-06

小麦组织氮的积累与分配及其相关性研究

赵万春¹, DAVID G B², O' BRIEN L²

(1 陕西省小麦研究中心, 陕西杨陵 712100)

(2 悉尼大学植物育种研究所, NARRABRI NSW, 2390)

[摘 要] 对 17 个澳大利亚小麦品种的组织氮研究表明: 品种间组织氮含量存在不同程度差异。叶片、茎秆和植株氮积累峰值分别出现在抽穗初期、灌浆初期和灌浆末期; 花期前氮素主要积累在叶片中, 花期后籽粒成为氮素最主要的贮藏器官。植株氮积累 (g/m^2) 与干物质积累呈极显著正相关, 而与其果糖积累、籽粒产量、籽粒蛋白质产量及含量无显著相关关系; 植株氮含量 (g/kg) 与其干物质积累、果糖含量和籽粒产量均呈显著负相关, 与籽粒蛋白质含量显著正相关。

[关键词] 小麦; 组织氮; 果糖; 籽粒产量; 蛋白质含量

[中图分类号] S512.101

[文献标识码] A

小麦生长发育过程中, 氮、碳的同化、分配与籽粒产量和蛋白质含量紧密相关。因此, 有关这方面的研究国外已有不少报道^[1~9], 而国内的研究信息却甚少。作者于 1996 年对小麦不同生育期干物质、果糖、组织氮的积累与分配及其相关关系进行了深入研究, 以期小麦高产优质育种及栽培提供参考信息。其中有关干物质、果糖方面的结果已作了报道^[10], 本文对有关组织氮的研究结果作以报道。

1 材料与方法

1.1 田间试验设计

田间试验于 1996 年在澳大利亚悉尼大学植物育种研究所 (Narrabri) 试验田进行。选用 17 个澳大利亚小麦品种 (CH35 CH51 APOLLO GEMINI MERCURY METEOR CUNNINGHAM CURRAWONG JANZ SUNBRI SUNBROOK SUNCQ SUNECA SUNELG SUNLAND SUNMIST 和 SUNSTATE), 随机区组设计, 2 次重复, 施 N 量 $200 \text{ kg}/\text{hm}^2$, 分别于小麦拔节前和孕穗期各施 50%。小区 7 行区, 行长 10 m, 行距 0.25 m, 相邻区间距 0.5 m。

1.2 取样与测量

植株样品分别取自播种后 75, 90, 105, 120, 140 和 160 d, 分别对应拔节期前、挑旗期、孕穗末期—抽穗期、扬花期、乳熟期和成熟期。用 0.5 m^2 取样框在每小区中间 4 行随机采取 (用剪刀从地表剪下植株)。在不同取样日, 根据植株组织的发育情况, 将样品植株分离为叶片、茎秆 (包括叶鞘)、穗壳 (穗去掉籽粒) 和籽粒。样品在微波炉处理 4 min 左右,

[收稿日期] 1998-12-07

[基金项目] UNDP 小麦项目 (91/135)

[作者简介] 赵万春 (1967-), 男, 助理研究员

再在烘箱 60~ 80℃下烘干 3 d,称干质量,然后用一 Christy & Norris实验磨磨粉,组织氮、果糖和籽粒蛋白质含量用近红外仪 (Technicon Infranlyzer 300)测定,并经校正 组织氮积累和果糖积累 ($\text{g}^{\circ} \text{m}^{-2}$)为其组织氮含量和果糖含量乘以其干物质积累 ($\text{g}^{\circ} \text{m}^{-2}$),籽粒氮含量为籽粒蛋白质含量除以 5. 7,籽粒氮积累 ($\text{g}^{\circ} \text{m}^{-2}$)为籽粒氮含量乘以籽粒产量 ($\text{g}^{\circ} \text{m}^{-2}$)

1. 3 统计分析

方差分析、相关分析均用 Minitab Release 10. 2 for Windows 统计软件完成。

2 结果与分析

2. 1 组织氮的积累与分配

方差分析表明,品种间植株氮积累 ($\text{g}^{\circ} \text{m}^{-2}$)除在播种后第 105天 (孕穗— 抽穗期)差异显著外,其余取样日无显著差异,而叶片和茎秆氮积累在多数取样日存在显著差异 品种间植株 叶、茎、穗壳氮含量 ($\text{g}^{\circ} \text{kg}^{-1}$)在多数取样日均存在不同程度差异 (表 1)。

表 1 氮积累与氮含量的方差分析结果

项 目	植 株					叶 片				茎 秆				穗 壳	
	75 d	90 d	105 d	120 d	140 d	90 d	105 d	120 d	140 d	90 d	105 d	120 d	140 d	140 d	160 d
氮积累 ($\text{g}^{\circ} \text{m}^2$)	ns	ns	* *	ns	ns	ns	* * *	*	* * *	* * *	* * *	ns	ns	ns	ns
氮含量 ($\text{g}^{\circ} \text{kg}^{-1}$)	*	* * *	* * *	*	*	* * *	* * *	ns	ns	*	* * *	ns	*	* *	ns

注: 1)取样日 75, 90, 105, 120, 140和 160是播种后的天数 以下表相同 2)* ,* * ,* * * 分别表示在 0. 1, 0. 05 和 0. 01水平显著, ns表示不显著。

由表 2可以看出,植株氮积累从播种后 75 d(拔节期)的 $6. 9 \text{ g}^{\circ} \text{m}^{-2}$ 逐渐递增到灌浆末期的 $19. 6 \text{ g}^{\circ} \text{m}^{-2}$. 叶片和茎秆氮积累峰值分别出现在抽穗初期与灌浆末期,这稍晚于张庆江等^[1]对春小麦品种的研究结果。开花期植株氮的 44% ~ 68. 2% 积累在叶片中,叶片是氮素的主要贮藏器官,而在开花期至灌浆期植株氮的 33. 4% ~ 39. 4% 分配在茎秆中,在灌浆期至成熟期籽粒成为氮素的主要贮存器官,此时叶片茎秆的贮存氮迅速减少,而籽粒氮迅速增加,这反映了营养器官中的贮藏氮向生殖器官籽粒中的再运输

表 2 不同取样日小麦植株及各器官的氮积累与氮含量均值

样品	氮积累 /($\text{g}^{\circ} \text{m}^{-2}$)						氮含量 /($\text{g}^{\circ} \text{kg}^{-1}$)					
	75 d	90 d	105 d	120 d	140 d	160 d	75 d	90 d	105 d	120 d	140 d	160 d
植株	6. 89	10. 07	12. 75	15. 50	19. 66	—	30. 9	23. 8	19. 2	16. 2	15. 1	—
叶片		6. 87	7. 37	6. 86	3. 99	—		31. 3	29. 4	25. 2	18. 2	—
茎秆		3. 20	5. 02	6. 11	6. 56	—		15. 9	12. 8	11. 6	12. 2	—
穗壳				2. 53	2. 97	2. 41				97	13. 7	13. 0
籽粒					6. 15	12. 38					18. 8	25. 1

随着生育进程,植株氮含量由拔节期的 $30. 9 \text{ g}^{\circ} \text{kg}^{-1}$ 降低到灌浆末期的 $15. 1 \text{ g}^{\circ} \text{kg}^{-1}$,从挑旗期至灌浆末期,叶片、茎秆氮含量分别由 $31. 3 \text{ g}^{\circ} \text{kg}^{-1}$ 和 $15. 9 \text{ g}^{\circ} \text{kg}^{-1}$ 降低到 $18. 2 \text{ g}^{\circ} \text{kg}^{-1}$ 和 $12. 2 \text{ g}^{\circ} \text{kg}^{-1}$.在营养生长期,叶片的氮含量最高,从灌浆末期到成熟期籽粒氮含量由 $18. 8 \text{ g}^{\circ} \text{kg}^{-1}$ 迅速上升到 $25. 1 \text{ g}^{\circ} \text{kg}^{-1}$,成为小麦植

株含氮量最高的部位 (表 2)

2.2 组织氮与干物质及果糖的关系

尽管植株氮含量随着生育进程而逐渐降低,而植株氮积累仍随着干物质的积累而逐渐增加。因此,高的氮积累不仅仅与氮的含量有关,而且更主要取决于干物质的积累量。事实上,本研究表明,植株氮积累与其干物质积累极显著正相关(0.270~0.954^{*})

相关分析表明(表3),在不同取样日植株氮含量与植株和茎秆干物质呈负相关,而与叶片干物质呈正相关,这不同于McMullan等^[7]对4个小麦基因型4个取样日的研究报道,认为氮积累与含量均与干物质积累无相关关系

表 3 不同时期植株氮含量与植株、叶片、茎秆干物质的表型相关系数

植株氮 含量	干物质积累										
	植 株					叶 片					
	75 d	90 d	105 d	120 d	140 d	160 d	90 d	105 d	120 d	140 d	160 d
75 d	- 0.274	- 0.450	- 0.385	- 0.167	- 0.563 [‡]	- 0.410	0.148	0.301	0.522 [‡]	0.289	0.418
90 d	- 0.113	- 0.307	- 0.246	- 0.038	- 0.396	- 0.275	0.422	0.439	0.657 [*]	0.431	0.384
105 d	- 0.146	- 0.422	- 0.360	- 0.226	- 0.501 [‡]	- 0.128	0.196	0.602 [*]	0.766 [*]	0.605 [*]	0.609 [*]
120 d	- 0.216	- 0.462	- 0.288	- 0.443	- 0.576 [‡]	- 0.139	0.244	0.686 [*]	0.822 [*]	0.679 [*]	0.748 [*]
140 d	- 0.216	- 0.315	- 0.108	- 0.134	- 0.271	- 0.342	0.218	0.371	0.512 [‡]	0.512 [‡]	0.426

植株氮 含量	干物质积累				
	茎 秆				穗 壳
	90 d	105 d	120 d	140 d	160 d
75 d	- 0.593 [*]	- 0.466	- 0.280	- 0.321	- 0.386
95 d	- 0.562 [*]	- 0.426	- 0.140	- 0.160	- 0.332
105 d	- 0.584 [‡]	- 0.579	- 0.349	0.034	- 0.234
120 d	- 0.653 [*]	- 0.477	- 0.650 [*]	0.086	- 0.144
140 d	- 0.471	- 0.241	- 0.246	- 0.178	- 0.141

注:*,** 分别表示在 0.05和 0.01水平上显著,以下表相同

本研究表明,组织氮含量一般与果糖呈负相关(表4);前人也发现在小麦拔节期这两性状间存在负相关关系^[9]。植株和茎秆的氮积累与其果糖积累无显著相关关系,而在多数取样日叶片氮积累显著正相关于其果糖积累(表5)。

表 4 不同时期氮含量与植株果糖含量的表型相关系数

植株氮含量	植株果糖含量				
含量	75 d	90 d	105 d	120 d	140 d
75 d	- 0.513 [‡]	- 0.686 [*]	- 0.230	- 0.137	- 0.359
90 d	- 0.332	- 0.805 [*]	- 0.357	- 0.036	- 0.404
105 d	- 0.150	- 0.482 [‡]	- 0.677 [*]	- 0.194	- 0.503 [‡]
120 d	- 0.269	- 0.501 [‡]	- 0.397	- 0.639 [*]	- 0.710 [*]
140 d	- 0.492 [‡]	- 0.516 [‡]	- 0.317	- 0.262	- 0.661 [‡]

表 5 不同时期叶片氮积累与果糖积累的表型相关系数

叶片氮积累	叶片果糖积累			
积累	90 d	105 d	120 d	140 d
90 d	0.341	0.374	0.596 [‡]	0.121
105 d	0.538 [‡]	0.721 [*]	0.652 [*]	0.619 [*]
120 d	0.567	0.717 [*]	0.785 [*]	0.663 [*]
140 d	0.722 [*]	0.670 [*]	0.592 [‡]	0.970 [*]

2.3 组织氮与籽粒氮的关系

由表6可以看出,在生育前期即小麦营养生长期(播种后120d前),植株及其器官氮的积累一般与成熟期籽粒氮有一定正相关关系,而小麦生长发育后期即形成籽粒的灌浆期,植株及其器官氮的积累一般与籽粒氮存在负相关,表明小麦植株在营养生长期贮存氮

越多,且生殖生长期营养器官贮存氮向籽粒转运率越高,籽粒氮积累越高。

籽粒氮(蛋白质)含量与植株及茎秆氮含量有显著正相关关系(表 6),拔节期(75d)植株氮含量与籽粒氮含量具有较高的正相关(0.653^{*}),说明根据拔节期植株氮含量可以预测成熟期籽粒氮含量。尽管在本研究中缺少成熟期植株总氮资料,但是成熟期穗壳氮含量及籽粒灌浆末期植株茎秆氮含量与籽粒氮含量间存在较高的正相关($0.431\sim 0.706^{*}$),这足以说明籽粒氮含量与成熟期植株氮含量有着密切的正相关关系。

表 6 不同时期小麦组织氮积累和含量与籽粒氮积累和含量的表型相关系数

时期	籽粒氮与组织氮		时期	籽粒氮与组织氮		时期	籽粒氮与组织氮				
	积累	含量		积累	含量		积累	含量			
植株	75 d	0.428	0.653 [*]	叶片	90 d	0.175	0.047	茎秆	105 d	0.378	0.317
	90 d	0.379	0.386		105 d	0.047	0.154		120 d	0.289	0.552 [‡]
	105 d	0.365	0.451		120 d	- 0.342	- 0.012		140 d	- 0.550 [‡]	0.431
	120 d	0.182	0.599 [*]		140 d	- 0.594 [‡]	0.098		140 d	- 0.110	0.446
	140 d	- 0.093	0.706 [*]	茎秆	90 d	0.548	0.431	穗壳	160 d	0.232	0.597 [*]

籽粒氮(蛋白质)产量与植株及器官组织氮含量存在较小负相关值,均未达显著水平;籽粒氮(蛋白质)含量与组织氮积累也无显著相关关系。植株茎秆氮含量多与叶片的氮积累显著正相关,而与其本身氮积累无显著相关关系(表 7)。

表 7 植株、叶片、茎秆氮积累与氮含量的表型相关系数

组织氮 积累	组织氮含量													
	植 株						叶 片				茎 秆			
	75 d	90 d	105 d	120 d	140 d	90 d	105 d	120 d	140 d	90 d	105 d	120 d	140 d	
植株	75 d	0.024	0.123	0.048	- 0.036	- 0.017	0.332	0.215	- 0.023	- 0.151	0.127	0.221	0.217	0.014
	90 d	0.149	0.398	0.123	- 0.009	0.097	0.669 [*]	0.377	0.227	- 0.039	0.371	0.190	- 0.024	0.139
	105 d	0.101	0.277	0.382	0.259	0.215	0.311	0.300	- 0.100	- 0.078	0.345	0.530 [‡]	0.429	0.137
	120 d	0.247	0.384	0.285	0.281	0.267	0.450	0.169	0.032	- 0.048	0.406	0.420	0.48 [‡]	0.313
	140 d	- 0.105	- 0.033	- 0.186	- 0.201	0.386	- 0.035	- 0.284	- 0.470 [‡]	- 0.393	- 0.024	0.071	0.112	0.567 [‡]
叶片	90 d	0.351	0.620 [*]	0.322	0.239	0.275	0.639 [*]	0.385	0.396	0.147	0.550 [‡]	0.270	0.060	0.256
	105 d	0.415	0.551 [‡]	0.722 [*]	0.683 [*]	0.378	0.216	0.357	0.162	0.291	0.558 [‡]	0.607 [*]	0.55 [‡]	0.134
	120 d	0.613 [*]	0.761 [*]	0.803 [*]	0.853 [*]	0.518	0.358	0.306	0.457	0.506 [‡]	0.744 [*]	0.617 [*]	0.554 [‡]	0.282
	140 d	0.355	0.498 [‡]	0.658 [*]	0.713 [*]	0.494 [‡]	- 0.111	0.004	0.080	0.423	0.505 [‡]	0.489 [‡]	0.472 [‡]	0.225
茎秆	90 d	- 0.165	- 0.012	- 0.181	- 0.339	- 0.167	0.522 [‡]	0.257	- 0.062	- 0.281	0.027	0.027	- 0.127	- 0.056
	105 d	- 0.085	- 0.003	0.078	- 0.042	0.050	0.221	0.056	- 0.200	- 0.227	0.061	0.426	0.305	0.149
	120 d	- 0.079	0.010	- 0.052	- 0.072	0.092	0.213	- 0.044	- 0.353	- 0.309	0.084	0.226	0.368	0.208
	140 d	0.061	0.177	0.184	0.289	0.553 [*]	- 0.150	- 0.364	- 0.311	- 0.110	0.188	0.285	0.420	0.680 ^{**}

2.4 组织氮与籽粒产量的关系

17个小麦品种的籽粒产量见表 8。方差分析表明,品种间籽粒产量无显著差异。籽粒产量与组织氮积累和含量的相关系数见表 9。籽粒产量与植株氮积累无显著相关关系;与叶片氮积累呈负相关,与花期后叶片氮积累的负相关达显著或极显著水平($- 0.491^{*}\sim - 0.640^{*}$);与茎秆氮积累在花期前呈正相关($0.182\sim 0.496^{‡}$),在乳熟期显著负相关($- 0.548^{‡}$)。籽粒产量与籽粒氮(蛋白质)产量呈极显著正相关($0.641^{*}\sim 0.706^{*}$)。

表 8 17 个小麦品种的籽粒产量结果

t° hm⁻²

品种	产量	品种	产量	品种	产量
CH35	4. 76	CUNNINGHAM	5. 55	SUNECA	4. 28
CH51	5. 34	CURRAWONG	4. 49	SUNELG	4. 88
APO LLO	5. 15	JAN Z	5. 60	SUNLAND	5. 01
GEMINI	4. 61	SUNBRI	4. 04	SUNMIST	5. 07
MERCURY	4. 96	SUNBROOK	4. 43	SUNSTATE	5. 31
METEOR	5. 91	SUNCO	4. 76		

表 9 不同时期小麦籽粒产量与组织氮积累和含量的表现型相关系数

籽粒产量与组织			籽粒产量与组织			籽粒产量与组织		
时期	氮积累	氮含量	时期	氮积累	氮含量	时期	氮积累	氮含量
75 d	0. 215	- 0. 49 [*]	90 d	0. 096	0. 131	105 d	0. 270	- 0. 245
90 d	0. 303	- 0. 338	105 d	- 0. 291	0. 158	茎秆 120 d	0. 182	- 0. 495 [*]
植株 105 d	0. 101	- 0. 384	120 d	- 0. 49 [*]	0. 023	140 d	- 0. 548 [*]	- 0. 546 [*]
120 d	0. 308	- 0. 612 [*]	140 d	- 0. 64 [*]	- 0. 147	穗壳 140 d	- 0. 025	- 0. 379
140 d	- 0. 027	- 0. 698 [*]	茎秆 90 d	0. 49 [*]	- 0. 356	160 d	- 0. 011	- 0. 440

籽粒产量与植株、茎秆、穗壳氮含量和籽粒氮(蛋白质)含量在多数取样日均显著或极显著负相关(- 0. 245~ - 0. 824^{*}),而与叶片氮含量相关不显著。

3 结论与讨论

1)小麦植株及叶茎等器官氮积累形式与其干物质及果糖的积累形式相似。叶片、茎秆及植株氮积累峰值分别出现在抽穗初期、灌浆初期和灌浆末期。花期前氮素主要积累在叶片中,生育后期籽粒成为氮素最主要的贮存场所,其次为茎秆。

2)组织氮积累与干物质积累呈极显著正相关;植株氮含量与植株及茎秆干物质负相关,而与叶片干物质正相关;植株和茎秆氮积累与其果糖积累无显著相关关系,而叶片氮积累多正相关于其果糖积累;组织氮含量多负相关于果糖含量。

3)由于作物氮素积累受施氮量及自然、环境条件影响较大,因此,有关小麦组织氮性状与籽粒产量及蛋白质含量等相关性结论不尽一致^[3~ 8]。本研究表明,植株氮含量与籽粒氮(蛋白质)含量有显著的正相关关系,与籽粒产量显著负相关,可以根据拔节期的植株氮含量预测成熟期籽粒氮(蛋白质)含量高低。植株氮积累与籽粒氮(蛋白质)产量及其含量无显著相关关系,与籽粒产量也无显著相关关系,这一结论不同于 Mckendry 等人^[6]的研究结果,他们认为植株总氮与籽粒产量、籽粒氮(蛋白质)产量及含量均显著正相关。同前人^[4~ 6]研究结论一样,本研究也表明,籽粒产量与籽粒氮(蛋白质)产量显著正相关,而与籽粒氮(蛋白质)含量负相关。Mckendry 等人^[6]、May 等人^[5]和 Beninati & Busch^[1]发现,籽粒蛋白质含量和蛋白质产量显著正相关(0. 46^{*} ~ 0. 64^{*}),籽粒产量与成熟期植株总氮积累也显著正相关。因此,将籽粒氮(蛋白质)产量和成熟期植株总氮作为间接选择指标,有可能选择到产量高,且保持蛋白质含量不变甚至提高的植株。

4)本文仅是对一年的试验结果进行分析,具有一定的局限性,并且对营养器官组织氮向籽粒的再运输及对籽粒氮的贡献大小有待进行深入研究。

[参考文献]

- [1] Beninati N F, Busch R H. Grain protein inheritance and nitrogen uptake and redistribution in a spring wheat cross [J]. Crop Sci, 1992, 32 1471~ 1475.
- [2] Cox M C, Qualset C O, Rains D W. Genetic variation for nitrogen assimilation and translocation in wheat. I . Dry matter and nitrogen accumulation[J]. Crop Sci, 1985, 25 430~ 435.
- [3] Cox M C, Qualset C O, Rains D W. Genetic variation for nitrogen assimilation and translocation in wheat. II . Nitrogen assimilation in relation to grain yield and protein[J]. Crop Sci, 1985, 25 435~ 440.
- [4] Löffler C M, Rauch T L, Busch R H. Grain and plant protein relationship in hard red spring wheat[J]. Crop Sci, 1985, 25 521~ 524.
- [5] May L, Van Sanford D A, Mackown C T, et al. Genetic variation for nitrogen use in soft red^x hard red winter wheat populations[J]. Crop Sci, 1991, 31 626~ 630.
- [6] McKendry A L, McVetty P B E, Evans L E. Selection criteria for combining high grain yield and high grain protein concentration in bread wheat[J]. Crop Sci, 1995, 35 1597~ 1602.
- [7] McMullan P M, McVetty P B E, Uruhart A A. Dry matter and nitrogen accumulation and their relationship to grain yield and grain protein in wheat[J]. Can J Plant Sci, 1988, 68 311~ 322.
- [8] McNeal F H, Berg M A, McGuire C T, et al. Grain and plant nitrogen relationship in eight spring wheat crosses *Triticum aestivum* L [J]. Crop Sci, 1972, 12 599~ 602.
- [9] Rotami M A, O'Brien L. Differences among bread wheat genotypes for tissue nitrogen content and their relationship to grain yield and protein content [J]. Aust J Agric Res, 1996, 47 33~ 45.
- [10] 赵万春, 陈光斗, L O'BRIEN, 等. 小麦干物质、果糖的积累与分配及其相关性 [J]. 中国青年农业科学学术年报, 1997, A 卷: 222~ 229.
- [11] 张庆江, 张立言, 毕桓武. 春小麦品种氮的吸收积累和转运特征及与籽粒蛋白质的关系 [J]. 作物学报, 1997, 23 (6): 712~ 718.

Study on tissue nitrogen accumulation and partitioning and their correlation

ZHAO Wan-chun¹, DAVID G B², O'Brein L²

(1 Wheat Research Centre of Shaanxi Province, Yangling, Shaanxi 712100, China)

(2 Plant Breeding Institute, University of Sydney, Narrabri, NSW, 2390, Australia)

Abstract Tissue nitrogen accumulation and partitioning and their correlation with dry matter, tissue fructan, grain yield and grain nitrogen (protein) content in seventeen wheat (*Triticum aestivum* L.) varieties were studied. The results showed: The varieties displayed significant differences in tissue nitrogen content at most sampling dates. Tissue nitrogen accumulation of leaf, stem and plant peaked at the beginning of heading, milking stage and the end of grain filling stage. Leaf was the main vegetative tissue for depositing nitrogen prior to anthesis, but after anthesis was grain. Plant tissue nitrogen accumulation (g/m^2) were significantly positively correlated with its dry matter, but not significantly correlated with their fructan accumulation, grain yield, grain nitrogen (protein) yield and content. Plant tissue nitrogen content (g/kg) was negatively correlated with their dry matter, fructan content and grain yield, but closely positively correlated with grain nitrogen (protein) content.

Key words wheat; tissue nitrogen; fructan; grain yield; protein content