

种植密度对两种穗型冬小麦品种干物质和氮素积累、运转及产量的影响

郭天财^{1,2}, 查菲娜¹, 马冬云^{1,2}, 宋晓¹, 岳艳军¹

(1. 河南农业大学, 河南 郑州 450002; 2. 国家小麦工程技术研究中心, 河南 郑州 450002)

摘要:在大田试验条件下, 研究了不同种植密度对两种穗型冬小麦品种干物质和氮素积累、运转及其籽粒产量的影响。结果表明, 两种穗型冬小麦品种花前植株干物质及贮藏氮素运转量均以适宜的低密度处理表现较高, 其中干物质运转量以茎鞘最高, 氮素运转量以叶片最高; 花后植株干物质及贮藏氮素运转量两品种间表现不一致, 大穗型品种兰考矮早八花后干物质及贮藏氮素运转量以最低密度的 C1(300 万株/hm²) 处理最高, 多穗型品种豫麦 49-198 则以较高密度的 B3(225 万株/hm²) 处理最高; 干物质对籽粒贡献率花前两品种均以较低密度处理表现较高, 花后则以较高密度处理表现较高; 贮藏氮素对籽粒氮素贡献率兰考矮早八花前以中间密度处理表现较高, 豫麦 49-198 则仍以较低密度处理较高。成熟期兰考矮早八籽粒产量、淀粉产量及蛋白质产量均以 C2(375 万株/hm²) 密度处理最高, 豫麦 49-198 则以 B2(150 万株/hm²) 处理最高。

关键词: 冬小麦; 种植密度; 干物质; 氮素; 运转量

中图分类号: S143.1 文献标识码: A 文章编号: 1000-7091(2007)06-0152-05

Effects of Plant Density on the Accumulation and Transfer of Dry Matter and Nitrogen and Grain Yield of Two Winter Wheat Cultivars with Different Spike Types

GUO Tian-cai^{1,2}, ZHA Fei-na¹, MA Dong-yun^{1,2}, SONG Xiao¹, YUE Yan-jun¹

(1. Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China; 2. National Engineering Research Center for Wheat, Zhengzhou 450002, China)

Abstract: Two winter wheat cultivars, Yumai 49-198 (a multi-spike type) and Lankaozaizao 8 (a large-spike type) were used to investigate the effect of planting densities on the accumulation and translation of dry matter and nitrogen and the grain yield. The results indicated that the remobilization rate of pre-anthesis assimilates and nitrogen was higher in lower density treatment. The highest remobilization rate of assimilates before anthesis was from stem and sheathes, while the highest remobilization rate of nitrogen was from leaves. After anthesis, the C1 treatment had the highest transferring amount of assimilates and nitrogen to grain for large-spike type, and the B3 treatment for multi-spike type. The contribution of assimilates to grain weight was higher in lower density before anthesis, but it was higher in higher density after anthesis. The contribution of reserved nitrogen to grain protein was higher in middle density treatments for Lankaozaizao 8 and in lower density treatments for Yumai 49-198. The highest value of grain yield, starch and protein was observed on C2 treatment for Lankaozaizao 8 and B2 for Yumai 49-198.

Key words: Winter wheat; Plant density; Dry matter; Nitrogen; Transportation

淀粉和蛋白质是小麦籽粒的主要成分, 两者含量在很大程度上决定了小麦籽粒的产量和品质特性^[1]。而小麦籽粒形成过程中, 源(叶)同化物的生

成、转运及向库(籽粒)中的分配累积能力是制约其淀粉和蛋白质积累的重要因素^[2]。其中, 氮素从营养器官向籽粒中的运转主要影响籽粒蛋白质含量^[3]

收稿日期: 2007-04-06

基金项目: “十一五”国家科技支撑计划(2006BA D02A07); 河南省重大科技攻关项目(0522010100)

作者简介: 郭天财(1953-), 男, 河南济源人, 教授, 博士生导师, 主要从事小麦耕作与栽培研究。

光合器官所产生的光合产物主要影响籽粒淀粉含量^[4,5]。许多研究表明, 小麦籽粒积累的氮素主要来自前期营养器官储存氮素的再分配, 即此期再分配的氮素占籽粒氮素总量的 53.0% ~ 80.5%^[6]。不同环境下小麦植株干物质与氮素的积累与转运差异明显^[7]。土壤干旱和渍水明显降低了小麦花前贮藏物质和氮素的运转以及花后同化物输入籽粒的量, 导致水分逆境下籽粒蛋白质、淀粉产量和含量的差异^[8]。氮肥运筹和植物生长调节剂对小麦干物质生产与分配、植株氮积累量和产量有显著的影响^[9]。迄今, 有关不同种植密度对小麦产量等影响的研究较多, 但不同种植密度条件下小麦干物质和氮素的积累、运转以及对产量的影响报道较少。为此, 本试验在大田条件下, 选择河南省具有代表性的两种穗型冬小麦品种, 研究了不同种植密度对其干物质和氮素积累、运转以及对产量的影响, 以期通过栽培措施促进籽粒蛋白质积累, 提高小麦产量提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 供试材料与试验设计

试验在河南农业大学科教示范园区进行。土壤为潮土, 前茬田菁掩底, 土壤有机质含量 17.8 g/kg, 全氮 0.99 g/kg, 碱解氮 57.9 mg/kg, 速效磷 67.5 mg/kg, 速效钾 204.8 mg/kg, pH 值为 7.94。小麦播种前结合整地, 每公顷施纯 N 270 kg, P₂O₅ 150 kg, K₂SO₄ 150 kg, 其中 50% 的氮肥与磷、钾肥一起掩底施入, 其余 50% 氮肥于拔节期结合浇水追施。田间管理按高产麦田进行。

供试品种分别选用大穗型品种兰考矮早八(A1)和多穗型品种豫麦 49-198(A2)。依据两种穗型小麦品种的分蘖成穗特点和实现高产的产量结构特点, 种植密度设置 4 个处理水平, 其中, 分蘖成穗率低的大穗型品种兰考矮早八分别为 300 万株/hm² (C1)、375 万株/hm² (C2)、450 万株/hm² (C3) 和 525 万株/hm² (C4), 17.8 cm 等行距宽幅播种, 播幅为 10 cm。分蘖成穗率高的多穗型品种豫麦 49-198 分别为 75 万株/hm² (B1)、150 万株/hm² (B2)、225 万株/hm² (B3) 和 300 万株/hm² (B4), 均按 16.5 cm × 22.1 cm 宽窄行播种。试验采用完全随机排列, 3 次重复, 小区面积为 2.9 m × 6 m。于 10 月 8 日人工点播, 三叶期定苗, 开花期选择同日开花、生长一致的单茎挂牌标记备用。

1.2 干物质测定

分别在开花期和成熟期取样 2 次, 每个处理各

取 10 个单茎, 按照叶、茎鞘、穗轴(含颖壳)、籽粒等器官分样, 105℃ 下杀青 20 min, 80℃ 烘至恒质量。采用称重法进行测定。计算方法^[10,11] 如下:

营养器官花前贮藏物质运转量 = 开花期干质量 - 成熟期干质量;

营养器官花前贮藏物质运转率 = (开花期干质量 - 成熟期干质量) / 开花期干质量;

花后光合同化量(输入籽粒部分, 下同) = 成熟期籽粒干质量 - 营养器官花前贮藏物质运转量;

对籽粒重的贡献率 = 花前贮藏物质运转量(或花后同化量) / 成熟期籽粒重。

1.3 氮素测定

采用 KDN-04 型蛋白质测定仪按 GB/T5514-1985 方法测定各部位样品全氮含量, 籽粒蛋白质含量按全氮量的 5.7 倍换算。计算方法^[10,11] 如下

开花前贮藏氮素运转量 = 开花期全氮量 - 成熟期全氮量;

开花前贮藏氮素运转率 = (开花期全氮量 - 成熟期全氮量) / 开花期全氮量;

花后氮素积累量 = 成熟期籽粒全氮含量 - 开花期营养器官贮藏氮素运转量;

对籽粒氮素贡献率 = 开花前贮藏氮素运转量(或花后同化氮素量) / 成熟期籽粒全氮量。

1.4 籽粒淀粉测定

采用何照范^[12] 的双波长比色法。直链淀粉含量测定主波长为 620 nm, 参比波长为 430 nm; 支链淀粉含量测定主波长为 540 nm, 参比波长为 720 nm; 总淀粉含量由直链淀粉加支链淀粉含量求得。

1.5 数据分析与利用

采用 DPS 软件对试验数据进行方差分析和显著性测验。

2 结果与分析

2.1 种植密度对两种穗型冬小麦品种干物质积累与运转的影响

由表 1 可以看出, 大穗型品种兰考矮早八叶片、茎鞘花前贮藏物质运转量以 C2 处理最高, 颖壳+穗轴花前物质运转量和运转率以及营养器官(叶片+茎鞘+颖壳+穗轴)的总运转量和运转率以最低密度的 C1 处理最高; 豫麦 49-198 叶片和颖壳+穗轴花前贮藏物质运转量和运转率分别以 B2 和 B3 处理最高, 但其茎鞘以及营养器官花前贮藏物质总运转量和运转率以最低密度的 B1 处理最高。表明适宜的密度处理有利于提高冬小麦花前干物质的积累和运转。同时, 两品种成熟期籽粒干质量以及花

前贮藏物质对籽粒贡献率也以较低密度水平的处理较高。但两品种花后光合同化物输入籽粒量以及花后同化物对籽粒贡献率却与此表现不一致。兰考矮早八花后光合同化物输入籽粒量以最低密度处理下

最高,最高密度处理下次之;对籽粒的贡献率则以较高密度的 C3, C4 处理较高。豫麦 49-198 花后同化物输入籽粒量以及对籽粒贡献率以中间密度水平的 B3 处理最高,其次为最低密度的 B1 处理。

表 1 种植密度对两种穗型冬小麦品种花前贮藏物质再运转和花后同化物积累的影响

Tab. 1 Effects of different plant densities on the remobilization of pre-anthesis stored assimilates and post-anthesis assimilates													
品种 Cultivars	处理 Treatment	1								2	3	4	5
		叶 Leaf		茎鞘 Stem+ sheath		颖壳+ 穗轴 Hull+ rachis		叶+ 茎鞘+ 颖壳+ 穗轴 Leaf+ stem+ sheath + hull+ rachis					
		A	B	A	B	A	B	A	B				
兰考矮早八 Lankaoaizaos	C1	0.217	40.94	0.407	21.93	0.163	26.61	0.787	26.25	2.333	33.74	1.546	66.26
	C2	0.229	39.15	0.414	21.27	0.139	17.72	0.782	23.59	2.139	36.56	1.357	63.44
	C3	0.179	36.38	0.168	11.17	0.081	11.19	0.428	15.73	1.827	23.43	1.399	76.57
	C4	0.114	28.57	0.249	16.37	0.038	5.95	0.401	15.70	1.832	21.87	1.431	78.13
豫麦 49-198 Yumai49-198	B1	0.190	43.88	0.333	26.60	0.042	11.39	0.565	27.48	1.374	41.14	0.809	58.86
	B2	0.214	48.09	0.283	24.89	0.050	16.69	0.547	29.08	1.225	44.64	0.678	55.36
	B3	0.150	39.89	0.168	15.88	0.074	19.19	0.392	21.54	1.248	31.41	0.856	68.59
	B4	0.182	45.05	0.264	24.18	0.057	16.19	0.503	27.21	1.202	41.86	0.699	58.14

注: 1. 营养器官花前贮藏物质(A. 运转量(g/单茎); B. 运转率(%)); 2. 成熟期籽粒干质量(g/单茎); 3. 花前贮藏物质对籽粒贡献率(%); 4. 花后光合同化物输入籽粒量(g/单茎); 5. 花后同化物对籽粒的贡献率(%)

Note: 1. The preanthesis stored assimilates of the vegetative organs(A. Amount of remobilization(g/ stem); B. Rate remobilization(%)); 2. Grain weight at maturity stage(g/ stem); 3. Contribution of preanthesis stored assimilates to grain weight(%); 4. Amount of post anthesis transferring into grain(g/ stem); 5. Contribution of post anthesis assimilates to grain weight(%)

表 2 种植密度对两种穗型冬小麦品种花前贮藏氮素和花后氮素积累的影响

Tab. 2 Effects of different plant densities on the remobilization of pre-anthesis stored nitrogen and post-anthesis assimilated nitrogen													
品种 Cultivars	处理 Treatment	1								2	3	4	5
		叶		茎鞘		颖壳+ 穗轴		叶+ 茎鞘+ 颖壳+ 穗轴					
		Leaf		Stem+ sheath		Hull+ rachis		Leaf+ stem+ sheath + hull+ rachis					
		A	B	A	B	A	B	A	B				
兰考矮早八 Lankaoaizaos	C1	12.690	81.45	9.142	45.03	3.293	34.74	25.12	55.39	44.10	56.96	18.980	43.04
	C2	14.520	82.38	14.260	57.51	2.611	22.21	31.39	57.94	42.19	74.39	10.810	25.61
	C3	13.370	79.81	12.070	59.45	2.663	22.93	28.11	57.74	38.66	72.71	10.550	27.29
	C4	9.720	78.96	10.230	62.92	4.823	50.41	24.77	64.96	32.82	75.47	8.050	24.53
豫麦 49-198 Yumai49-198	B1	9.502	73.25	9.731	59.69	2.653	38.98	21.89	60.66	30.19	72.49	8.308	27.51
	B2	10.860	78.82	8.694	57.50	2.362	44.11	21.91	63.99	27.99	78.28	6.079	21.72
	B3	7.224	67.12	6.924	53.45	3.080	44.25	17.23	56.16	27.28	63.15	10.050	36.85
	B4	7.436	66.91	9.479	59.26	2.251	35.15	19.17	57.19	26.32	72.81	7.157	27.19

注: 1. 营养器官花前贮藏氮素(A. 运转量(g/单茎); B. 运转率(%)); 2. 成熟期籽粒全氮量(mg/单茎); 3. 花前贮藏氮素总运转量对籽粒氮素的贡献率(%); 4. 花后氮素积累量(mg/单茎); 5. 花后氮素积累量对籽粒氮素的贡献率(%)

Note: 1. The preanthesis stored nitrogen of the vegetative organs(A. Amountof remobilization(g/steam); B. Rate remobilization(%)); 2. Total grain nitrogen maturity(mg/ stem); 3. Contribution of total remobilization of pre-anthesis stored nitrogen to grain weight(%); 4. Amount of post-anthesis assimilated nitrogen transferring into grain(mg/ stem); 5. Contribution of post-anthesis assimilated nitrogen to grain(%)

2.2 种植密度对两种穗型冬小麦品种花前贮藏氮素运转和花后氮素积累的影响

两种穗型冬小麦品种不同种植密度条件下花前贮藏氮素运转和花后氮素积累的结果表现不一致(表 2)。兰考矮早八叶片、茎鞘花前贮藏氮素运转量和运转率以及总运转量和运转率以中间密度的 C2, C3 处理较高, 颖壳+ 穗轴则以最高密度的 C4 处理最高; 成熟期单茎籽粒全氮量随密度增加而逐渐

降低; 其花前贮藏氮素对籽粒贡献率以最高密度的 C4 处理最高, 中间密度的 C2 处理次之, 花后氮素积累量对籽粒贡献率与之相反, 以 C4 处理最低; 但花后氮素积累量则以最低密度的 C1 处理最高。豫麦 49-198 叶片、茎鞘花前贮藏氮素运转量和运转率以及总运转量和运转率以较低密度水平的 B1, B2 较高, B3 处理最低, 但其颖壳+ 穗轴花前贮藏氮素运转量和运转率则以 B3 处理最高; 与兰考矮早八相

似, 豫麦 49-198 成熟期籽粒全氮含量随密度增加呈降低趋势; 花前贮藏氮素对籽粒氮素贡献率以 B2 处理最高, B3 处理最低。与之相反, 其花后氮素积累量 and 其对籽粒氮素贡献率均以 B3 处理最大, 分别为 10.05 mg/ 单茎和 36.85%。

2.3 种植密度对两种穗型冬小麦品种籽粒产量、蛋白质和淀粉产量的影响

由表 3 可看出, 兰考矮早八籽粒产量、淀粉产量以及蛋白质产量均表现出相同的规律, 即随着密度增加呈先增加后下降趋势, 且以较低密度的 C2 处理最高, 并且 C2、C3 两处理籽粒产量和蛋白质产量的差异均达到 0.05 显著水平。淀粉含量则随密度

增加逐渐降低, 以最低密度的 C1 处理最高; 蛋白质含量随密度增加表现出先下降后上升的变化趋势, 且以 C1 密度处理最高, C2 处理最低, 淀粉和蛋白质含量各处理间差异均未达到显著水平。豫麦 49-198 籽粒产量、蛋白质和淀粉产量以及淀粉含量均随密度增加呈先增高后降低的变化趋势, 籽粒产量和蛋白质、淀粉产量均以 B2 处理最高, B4 处理最低, 且两处理籽粒产量、蛋白质产量的差异达到显著水平, 淀粉产量的差异达到极显著水平。豫麦 49-198 蛋白质含量随密度增加呈先降低后升高的变化趋势, 以 B4 处理最高, B2 处理最低, 但各处理间未达到显著差异。

表 3 种植密度对两种穗型冬小麦品种籽粒产量、蛋白质和淀粉产量的影响

Tab. 3 Effects of different plant densities on the grain yield and protein, starch yield in the grains at the maturity stage						
品种 Varietals	处理 Treatment	籽粒产量 /(kg/ hm ²) Grain yield	淀粉产量 /(kg/ hm ²) Starch yield	蛋白质产量 /(kg/ hm ²) Protein yield	淀粉含量/ % Starch content	蛋白质含量/ % Protein content
兰考矮早八 Lankaoaizao8	C1	8 236. 5abA	6 510. 0a	1 204. 5abA	79. 22a	15. 18a
	C2	8 784. 0aA	6 835. 5a	1 285. 5aA	77. 85a	14. 64a
	C3	7 729. 8bA	5 974. 5a	1 134. 0cA	77. 34a	14. 67a
	C4	7 746. 5bA	5 893. 5a	1 159. 5bcA	76. 09a	14. 96a
豫麦 49-198 Yumai49-198	B1	7 883. 6abA	6 318. 0abAB	1 113. 0abA	80. 64a	14. 11a
	B2	8 601. 5aA	6 936. 0aA	1 200. 0aA	81. 15a	13. 95a
	B3	7 649. 3abA	6 219. 0bAB	1 084. 5abA	81. 26a	14. 17a
	B4	7 208. 3bA	5 740. 5bB	1 057. 5bA	77. 90a	14. 68a

注: 同列后相同小写字母或大写字母表示差异未达到 0.05 或 0.01 显著水平
Note: Nomal and capital letters indicate significant different at P= 5% and 1%, respectively in the same row

3 结论与讨论

小麦植株营养器官所贮藏的营养物质在灌浆后期运转到籽粒中, 是决定籽粒产量和蛋白质含量的重要因素^[3], 而开花至成熟期植株光合生产能力及吸氮能力的差异将进一步导致籽粒产量和蛋白质含量的差异^[13- 15], 在一些逆境条件下, 这些物质对于缓冲源供应与库需求之间的矛盾, 维持较高的籽粒灌浆速率也有着重要的意义^[16- 18]。高产栽培条件下, 小麦营养器官花前贮藏物质与籽粒产量也存在密切关系。本试验结果表明, 小麦茎鞘花前贮藏干物质运转量、花前营养器官总运转量与籽粒淀粉产量呈显著正相关($r= 0.95^*$ 和 $r= 0.90^*$)。而适宜的低密度处理能够提高其营养器官贮藏干物质质量, 并提高其向籽粒的转化率。在本试验条件下, 两种穗型冬小麦品种均以较低密度水平下叶片、茎鞘、颖壳 + 穗轴等营养器官花前贮藏物质运转量和运转率以及总运转量和运转率较高。这可能是两品种在较低密度水平下光分布良好, 有利于光合作用的进行, 从而提高了干物质积累量。而如果种植过密, 下层叶子受光照少, 在光补偿点以下变成了消费器官, 光合

效率低, 从而减少了干物质积累量^[19]。本试验结果还表明, 小麦植株花前贮藏物质对籽粒贡献率仍然以较低密度处理较高, 而花后贮藏物质对籽粒的贡献率则以较高密度处理表现较高, 这可能是因为小麦开花期以后植株叶片渐渐死亡, 高密度处理此时保证了较高的叶面积指数, 有利于促进光合物质的生成, 从而提高了干物质积累量。

本试验结果还表明, 适宜的种植密度有利于冬小麦干物质和氮素的积累, 促进其向籽粒转化, 最终提高籽粒蛋白质含量。大穗型品种兰考矮早八营养器官花前总贮藏氮素量以中间密度水平的处理较高, 可能因为此密度水平下小麦群体适宜, 植株光合能力得到有效发挥, 光合产物充足, 最终提高了小麦叶片同化能力, 从而为 N 的吸收同化供给了更多的能量。豫麦 49-198 营养器官花前总贮藏氮素量在 B2 密度水平下最高, 与干物质积累量的表现相一致。

小麦干物质和氮素的积累、运转通过影响其淀粉和蛋白质含量而最终影响到小麦的产量和品质。不同栽培措施条件下, 小麦干物质及氮素的积累效果不同。本试验表明, 种植密度对两种穗型冬小麦品种营养器官及成熟期籽粒的干物质和氮素积累量

存在一定影响。大穗型品种兰考矮早八在较低密度的 C2(375 万株/hm²) 处理条件下干物质及氮素积累量、转运量均较高,有利于籽粒淀粉和蛋白质含量的提高,从而提高了籽粒产量。多穗型品种豫麦 49-198 以 B2(150 万株/hm²) 密度条件下的籽粒淀粉和蛋白质产量最高,最终产量也最高。为使研究结果能更接近于生产实际,本试验依据两品种的分蘖成穗特点设置了相应的种植密度,而关于这两种穗型品种在相同种植密度条件下干物质和氮素积累、运转特点还值得进一步研究。

参考文献:

- [1] 周 琴,姜 东,戴廷波,等.不同基因型小麦籽粒蛋白质和淀粉积累与碳氮转运的关系[J].南京农业大学学报,2002,25(3):1-4.
- [2] 王振林,贺明荣,傅金民,等.源库调节对灌溉与旱地小麦开花后光合产物生产和分配的影响[J].作物学报,1999,25(2):162-168.
- [3] 沈建辉,戴廷波,荆 奇,等.施氮时期对专用小麦干物质和氮素积累、运转及产量和蛋白质含量的影响[J].麦类作物学报,2004,24(1):55-58.
- [4] 王书丽,郭天财,王晨阳,等.两种筋力型小麦叶、粒可溶性糖含量及与籽粒淀粉积累的关系[J].河南农业科学,2005,(4)12-15.
- [5] 王旭东,于振文,王 东.钾对小麦茎和叶鞘碳水化合物含量及子粒淀粉积累的影响[J].植物营养与肥料学报,2003,9(1):57-62.
- [6] 范雪梅,戴廷波,姜 东,等.花后干旱与渍水下氮素供应对小麦碳氮运转的影响[J].水土保持学报,2004,18(6):63-67.
- [7] 荆 奇,戴廷波,姜 东,等.不同生态条件下不同基因型小麦干物质和氮素积累与分配特征[J].南京农业大学学报,2004,27(1):1-5.
- [8] 姜 东,谢祝捷,曹卫星,等.花后干旱和渍水对冬小麦

光合特性和物质运转的影响[J].作物学报,2004,30(2):175-182.

- [9] 张国平,陈锦新,蔡仁祥.氮肥运筹和烯效唑对小麦干物质重和氮积累的影响[J].浙江农业大学学报,1998,24(2):174-178.
- [10] 沈建辉,戴廷波,荆 奇,等.施氮时期对专用小麦干物质和氮素积累、运转及产量和蛋白质含量的影响[J].麦类作物学报,2004,24(1):55-58.
- [11] 夏来坤,朱云集,郭天财,等.铜、镉胁迫下施硫酸肥和有机肥对冬小麦碳氮运转的影响[J].西北植物学报,2006,26(6):1217-1222.
- [12] 何照范.双波长法测定谷物中直链、支链及总淀粉含量[C]//粮油籽粒品质及其分析技术.北京:农业出版社,1985:290-294.
- [13] 田纪春,张忠义,梁作勤.高蛋白和低蛋白小麦品种的氮素吸收和运转分配的差异[J].作物学报,1994,20(1):76-83.
- [14] 徐恒永,赵振东,刘建军,等.群体调控与氮肥运筹对强筋小麦济南 17 号产量和品质的影响[J].麦类作物学报,2002,22(1):56-62.
- [15] 王月福,于振文,李尚霞.氮素营养水平对小麦开花后碳素同化、运转和产量的影响[J].麦类作物学报,2002,22(2):55-59.
- [16] Yang J, Zhang J, Huang Z, *et al.* Remobilization of carbon reserves is improved by controlled soil-drying during grain filling of wheat[J]. Crop Sci, 2000, 40(6): 1645-1655.
- [17] Yang J, Zhang J, Wang Z, *et al.* Water deficit-induced senescence and its relationship to the remobilization of pre-stored carbon in wheat during grain filling[J]. Agron J, 2001, 93(1): 196-206.
- [18] 许振柱,李长荣,陈 平,等.土壤干旱对冬小麦生理特性和干物质积累的影响[J].干旱地区农业研究,2003(3):113-118.
- [19] 朱凤荣,邱宗波.种植密度和植物生长调节剂对小麦衰老和产量构成的影响[J].河南农业科学,2004(8):18-20.