

秸秆覆盖下旱地小麦收获指数降低的原因解析

张树兰¹,刘俊梅¹,黎青慧²,封涌涛³,杨学云¹,常艳丽¹

(1.西北农林科技大学/农业部西北植物营养与农业环境重点实验室,陕西 杨凌 712100;
2.陕西省土壤肥料工作站,陕西 西安 710003; 3.宝鸡市农业技术推广服务中心,陕西 宝鸡 721000)

摘 要: 结合田间试验与文献资料,分析了旱地秸秆覆盖条件下小麦收获指数降低的原因。结果表明,虽然大多数资料显示秸秆覆盖能够增加小麦产量,但是覆盖较常规耕作小麦收获指数下降最高达 20%,这个现象不容忽视。其原因可能是:(1)小麦生育前期旺长消耗大量土壤水分,造成小麦后期严重的水分胁迫,影响籽粒灌浆。(2)小麦后期水分胁迫可能引起冠层温度升高,导致热胁迫对籽粒灌浆不利;(3)旱地小麦氮肥播前一次施用方式有可能引起小麦后期氮营养不足,加速叶片衰老,影响花后光合产物形成,也不利于籽粒灌浆。

关键词: 小麦;收获指数;秸秆覆盖;氮素;冠层温度
中图分类号: S512.048 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-7601(2014)01-0047-05

Analysis of the causes of wheat harvest index reduction under straw mulching on dryland

ZHANG Shu-lan¹, LIU Jun-mei¹, LI Qing-hui², FENG Yong-tao³, YANG Xue-yun¹, CHANG Yan-li¹

(1. Key Laboratory of Plant Nutrition and the Agri-environment in Northwest China, Ministry of Agriculture, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China; 2. Shaanxi Soil and Fertilizer Station, Xi'an, Shaanxi 710000, China; 3. Baoji Agricultural Technology Extension and Service Centre, Baoji, Shaanxi 721000, China)

Abstract: Based on field experiments and published data, this paper analysed the causes of wheat harvest index reduction under straw mulching in comparison with conventional management on dryland. Generally, many studies showed that straw mulching increased wheat yield. However, the harvest index decreased by 20% for straw mulching as compared with the conventional management. This decrease in harvest index were probably related to: (1) overuse of soil water before anthesis, which resulted in severe water stress during grain filling stage; (2) higher canopy temperature during grain filling stage; (3) leaf senescence and decreased leaf assimilation owing to the only once application of nitrogen fertilizer as basal. However, more work is needed to elucidate the mechanism underlying this reduction in harvest index.

Keywords: wheat; harvest index; straw mulching; nitroegn management; canopy temperature

小麦是我国乃至世界范围内的主要粮食作物之一,而近十几年来小麦播种面积剧减,对我国主要粮食作物的生产正在或将产生较大的负面影响。旱地小麦面积约占我国小麦总播种面积的三分之一,在灌区小麦增产潜力有限的情况下,提高旱地小麦产量对保证国家粮食安全具有特别重大的意义。

小麦产量主要取决于生物量和收获指数,在适宜环境条件下对于一个品种而言收获指数变化很小,提高生物量是提高小麦单产的最重要的物质基础^[1]。然而,在旱地条件下水分胁迫经常发生,显著影响了小麦的收获指数^[2]。秸秆覆盖作为保护性耕作技术措施之一是旱地小麦高效用水和增产的一个重要措施,过去 20 多年来我国许多地方进行了研究和推广。大多数研究报道了秸秆覆盖下作物的产量效应,而没有关注收获指数的响应。在黄土高原的三年定位试验中,我们发现在两种地形条件下,除坝地的一个年份外其它年份覆盖较不覆盖冬小麦收获指数均下降,幅度为 10% ~ 20% (表 1)^[3]。文献检索发现其他研究者的结果也显示同样的趋势,覆盖较不覆盖小麦收获指数降低幅度约为 3% ~ 14% (表 2)。秸秆覆盖小麦收获指数为什么会降低? 目前还少见研究报道。收获指数降低意味着单位生物量形成籽粒的贡献率下降,也就是秸秆覆盖条件下小麦生产效率下降。提高秸秆覆盖小麦的生产效率

收稿日期:2013-03-05
基金项目:国家自然科学基金(31170411);公益性行业科研专项(201103003);农业科研杰出人才及其创新团队培养计划
作者简介:张树兰(1966—),女,内蒙古商都人,研究员,博士生导师,主要从事农田水分和养分管理研究工作。E-mail: zhangshulan@nwsuaf.edu.cn。

能够显著提高旱地小麦的产量,同时显著提高水、肥

小麦收获指数降低的根本原因,这对粮食安全、资源

等资源利用效率。因此,迫切需要剖析秸秆覆盖下

高效利用有重要的科学意义。

表 1 2001—2004 年旱地冬小麦生物量及收获指数

Table 1 Wheat biomass and harvest index during 2001—2004

地形 Land forms	时间 Date (Y - M)	生物量 Biomass/(t·hm ⁻²)			收获指数 Harvest index		
		覆盖 Mulching(M)	常规 Conventional(C)	覆盖 - 常规 Mulching - conventional	覆盖 Mulching(M)	常规 Conventional(C)	(覆盖 - 常规)/常规/% (M - C)/C
塬地 Upland	2001 - 02	8.2	6.7	1.5	0.50	0.56	- 10.7
	2002 - 03	9.0	6.1	2.9	0.33	0.42	- 21.4
	2003 - 04	13.4	13.6	- 0.2	0.35	0.40	- 12.5
坝地 Lowland	2001 - 02	6.5	5.5	1.0	0.48	0.48	0.0
	2002 - 03	11.8	9.0	2.8	0.38	0.45	- 15.6
	2003 - 04	15.9	13.0	2.9	0.33	0.39	- 15.4

表 2 秸秆覆盖与常规管理下小麦产量和收获指数

Table 2 Wheat grain yield and harvest index under mulching and conventional practices

田间 管理 Practices	氮水平 N rate /(kg·hm ⁻²)	籽粒产量 Grain yield /(kg·hm ⁻²)	生物量 Biomass /(kg·hm ⁻²)	收获指数 Harvest index	(覆盖 - 常规)/常规 (M - C)/C /%	数据来源 Source	
常规 Conventional	0	2620	—	0.71	- 14.1	Lyon et al. ^[4] , 1998	
覆盖 Mulching	0	2430	—	0.61			
常规 Conventional	45	2620	—	0.68	- 4.4		
覆盖 Mulching	45	2630	—	0.65			
常规 Conventional	140	4.4	13.1	0.34	- 4.1	Jin et al. ^[5] , 2008	
覆盖 Mulching	140	4.6	14.3	0.32			
常规 Conventional	150	5578.5	12657.0	0.44	- 6.3	张洁等 ^[6] , 2008	
覆盖 Mulching	150	5793.0	14029.5	0.41			
常规 Conventional	0	—	—	0.31	- 12.9	刘文国等 ^[7] , 2006 (3 年度平均结果)	
覆盖 Mulching	0	—	—	0.27			
常规 Conventional	120	—	—	0.30	- 3.2		
覆盖 Mulching	120	—	—	0.29			
常规 Conventional	240	—	—	0.31	- 14.2		
覆盖 Mulching	240	—	—	0.27			
常规 Conventional	120	—	—	0.48	- 8.2	周少平等 ^[8] , 2008 (5 年平均结果)	
覆盖 Mulching	120	—	—	0.44			
常规 Conventional	0	6324	14107.4	0.45	- 6.9	高亚军等 ^[9] , 2008	
覆盖 Mulching	0	5507	13199.3	0.42			
常规 Conventional	112.5	6516	14969	0.43	- 6.5		
覆盖 Mulching	112.5	5107	12817	0.41			
常规 Conventional	225	6674	14639	0.46	- 13.1		
覆盖 Mulching	225	6471	16302	0.40			
常规 Conventional	337.5	7050	16157	0.44	- 4.2		
覆盖 Mulching	337.5	6373	15173	0.42			
常规 Conventional	450	6773	14933	0.45	- 12.6		
覆盖 Mulching	450	6593	16636	0.40			
常规 Conventional	120	—	—	0.48	- 9.3		陈辉林 ^[10] , 2010 (两年均值)
覆盖 Mulching	120	—	—	0.43			

1 影响收获指数的因素

收获指数是作物籽粒产量占地上部总生物量的比例,是评价作物品种产量水平和栽培成效的重要指标。收获指数的生理本质反映了作物同化产物在籽粒和营养器官上的分配比例。收获指数具有较高的遗传性,但是环境条件对其有显著影响^[2,11-12]。因此,影响作物光合产物形成及转运的因素也就影响收获指数的大小。小麦籽粒灌浆期间,籽粒累积的物质有两种来源^[13-14]:(1)开花后形成的光合产物直接向籽粒的转运;(2)花前形成储存的光合产物向籽粒的再转运。研究表明小麦生长前期土壤氮水平、开花前后水分利用的比例、花期高温以及病虫害等胁迫因素均可明显影响作物花前及花后光合产物的形成以及向籽粒的转运^[15-18]。

2 秸秆覆盖小麦收获指数降低的原因分析

2.1 水分因素

水分是影响旱作小麦收获指数的重要因素,严重干旱胁迫下收获指数会降低,水分条件较好时收获指数则显著提高^[19]。尤其是在小麦灌浆期遭受土壤干旱,旗叶保护酶活性下降,加重膜脂过氧化程度,加速旗叶衰老,导致灌浆速度和粒重下降^[20],不过这种花后光合作用的抑制可以促进花前同化产物向籽粒的转运,在一定程度上弥补一些花后的影响^[21-22]。小麦开花后水分胁迫的发展速度也影响花前同化产物向籽粒的运输,快速发展的水分亏缺较慢速进程的水分亏缺同化产物转移比例减少 24%^[23]。Zhu 等^[24]发现花前地上部生物量与收获时生物量的比值越大小麦产量越低,可能的原因是花前旺长消耗水分过多,导致花后水分胁迫更为严重,造成小麦产量下降,影响收获指数。温室试验显示,随着小麦花后水分利用比例的增加,收获指数呈线性增加趋势^[25],但缺乏田间实证结果。在我们三年降雨量分别为 527、460 mm 和 864 mm 的定位试验中,第三年(2004 年)是试验地区 50 年来降雨最多的丰水年。从小麦开花至成熟土壤储水量(0~200 cm 土层)的日变化来看(图 1),2002 年整个花后时段覆盖处理均低于不覆盖处理,2003 年花后半段时间两个处理相似,而后半段也是覆盖处理均低于不覆盖处理,而这两年地上部生物量前者均高于后者(表 1)^[3]。因此,秸秆覆盖处理小麦可能遭受水分胁迫的程度大于不覆盖小麦,这可能是造成覆盖条件下小麦收获指数降低的一个关键因素。尽管前人对秸

秆覆盖下土壤储水量的变化进行了大量报道^[10,26-28],有的研究也比较了覆盖与不覆盖的耗水量^[29],而秸秆覆盖小麦阶段耗水比例与小麦产量及收获指数的关系目前并不清楚,有待于进一步深入研究。

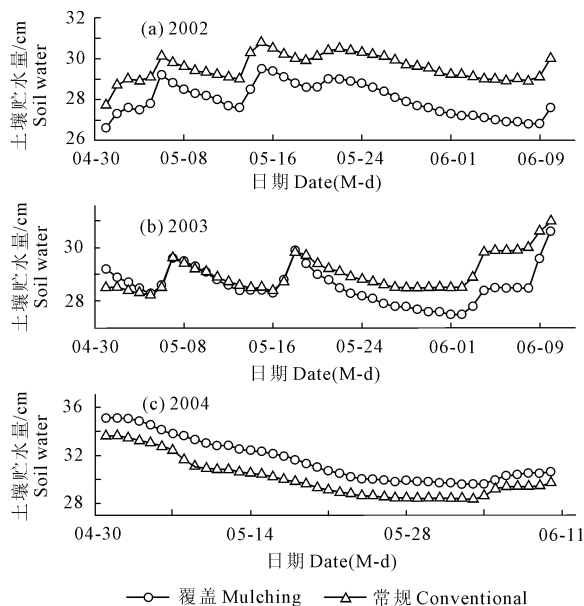


图 1 2002—2004 年塬地小麦开花至成熟秸秆覆盖与常规种植处理 0~200 cm 土壤储水量的日变化

Fig.1 Daily dynamics of soil water from flowering stage to maturity under mulching and conventional practices for 2002—2004 (0~200 cm soil depth)

2.2 温度因素

小麦属于喜凉作物,籽粒灌浆期高温不利于千粒重的提高,同时收获指数也降低^[30-31]。我国北方冬麦区在籽粒灌浆成熟期气温升高是籽粒产量增加的重要限制因素^[32]。春玉米和水稻的研究表明秸秆覆盖处理冠层温度低于不覆盖处理^[33-34]。而麦田地面覆盖秸秆后,导热率变小,反射率增大,使近地层的空气温度明显升高,如小麦田 10 cm 高度气温覆盖田与对照田的差异最高可达 1.3℃^[35]。从能量的角度来说,秸秆覆盖用于空气增温的热量远远大于不覆盖处理^[36]。这样是否意味着秸秆覆盖麦田冠层温度较不覆盖会增高?目前还少见研究报道。从我们的试验结果看出秸秆覆盖小麦开花后土壤储水量低于不覆盖(图 1),覆盖小麦可能遭遇更为严重的水分胁迫,这是否会进一步加剧冠层温度的升高,对小麦灌浆不利?目前缺乏数据支撑,有待于研究验证。

2.3 氮素营养

小麦籽粒发育与营养器官的衰老同步进行,而氮素营养决定着叶片衰老的开始以及其衰老的速

度^[37]。在灌区常规耕作条件下,合理的施氮量可获得小麦高产以及高的收获指数,低于或高于合理施氮量均对小麦产量和收获指数有不利的影响^[38]。另外,氮素分次施用(如生育后期适量增施氮肥)可使小麦植株体内保持高水平的保护酶活性,降低后期细胞膜脂过氧化水平,延缓旗叶的衰老,延长旗叶的光合功能期^[39-40],从而有利于穗粒数和粒重的增加,提高小麦产量和收获指数^[41-43]。即使小麦开花后遭遇水分胁迫,提高氮素水平,不仅提高花前同化产物向籽粒转移的比例,而且延长籽粒灌浆时间,增加小麦籽粒产量和收获指数^[20,22],这可能与高氮水平延缓了功能叶片的衰老有关。不过上述有关氮素营养对小麦产量和收获指数影响的研究均在灌溉或盆栽等人为控制条件下进行,而旱作条件下氮素调控对小麦收获指数的研究则少见报道。

在旱作条件下氮肥施用往往采用“一炮轰”(也就是播前一次施用)^[27-28,44],并且认为增产效果显著,经济实用^[45]。也有试验显示氮素适时分期施用,小麦产量显著高于“一炮轰”的方式^[46-47]。而秸秆覆盖情况下农田小气候发生变化,土壤水分环境也发生变化,氮素“一炮轰”的管理方式可能进一步促进花前生物量过多累积,不仅消耗土壤水分,而且可能引起花后植株氮水平降低,加速叶片衰老,导致花后同化物形成减少以及向籽粒转运比例下降。这可能是造成覆盖小麦收获指数降低的另一个关键因素。因此,氮素调控管理如何影响秸秆覆盖小麦生长及收获指数,值得研究。

3 结 论

通过分析前人已取得的研究成果和我们前期的工作,秸秆覆盖小麦收获指数下降的原因有以下三个方面。

- 1) 秸秆覆盖下良好的土壤水分条件刺激小麦前期旺长形成大群体,过多消耗土壤水分,造成后期严重的水分胁迫,影响花后光合产物的形成,导致收获指数下降。
- 2) 秸秆覆盖麦田籽粒灌浆期热胁迫可能较为严重,对籽粒灌浆不利造成收获指数降低。
- 3) 秸秆覆盖情况下氮素播前一次性施用方式,促进小麦生育前期旺长,可能引起后期植株氮水平下降,影响花后功能叶片的功能,导致花后同化物形成减少以及向籽粒转运比例下降。

参 考 文 献:

[1] 何中虎,黄 钢,肖也和,等.提高小麦产量潜力——突破增产

屏障[M].北京:中国科学技术出版社,1999:15-95.

[2] Unkovich M, Baldock J, Forbes M. Variability in harvest index of grain crops and potential significance for carbon accounting: Examples from Australian agriculture[J]. *Advances in Agronomy*, 2010, 105: 173-219.

[3] Zhang S L, Lövdahl L, Grip H, et al. Effect of mulching and catch cropping on soil temperature, soil moisture and wheat yield on the Loess Plateau of China[J]. *Soil & Tillage Research*, 2009, 102:78-86.

[4] Lyon D J, Walter W, Stroup W W, et al. Crop production and soil water storage in long-term winter wheat-fallow tillage experiments[J]. *Soil & Tillage Research*, 1998, 49:19-27.

[5] He Jin, Wang Qingjie, Li Hongwen, et al. Effect of alternative tillage and residue cover on yield and water use efficiency in annual double cropping system in North China Plain[J]. *Soil & Tillage Research*, 2009, 104:198-205.

[6] 张 洁,吕军杰,王育红,等.豫西旱地不同覆盖方式对冬小麦生长发育的影响[J].*干旱地区农业研究*,2008,26(2):94-97.

[7] 刘文国,张建昌,曹卫贤,等.旱地小麦不同栽培条件对土壤水分利用效率的影响[J].*西北农业学报*,2006,15(5):47-51.

[8] 周少平,谭广洋,沈禹颖,等.保护性耕作下陇东春玉米-冬小麦-夏大豆轮作系统土壤水分动态及水分利用效率[J].*草业科学*,2008,25(7):69-76.

[9] 高亚军,郑险峰,李世清,等.农田秸秆覆盖条件下冬小麦增产的水氮条件[J].*农业工程学报*,2008,24(1):55-59.

[10] 陈辉林.地表覆盖对渭北旱原冬小麦水肥利用及产量的影响[D].杨凌:西北农林科技大学,2010.

[11] Hay R K M. Harvest index: a review if its use in plant breeding and crop physiology[J]. *Annals of Applied Biology*, 1995, 126:197-216.

[12] 潘晓华,邓强辉.作物收获指数的研究进展[J].*江西农业大学学报*,2007,29:1-5.

[13] Austin R B, Morgan C L, Ford M A, et al. Contributions to grain yield from pre-anthesis assimilation in tall and dwarf barley phenotypes in two contrasting seasons[J]. *Ann. Bot.* 1980, 45:309-319.

[14] Santiveri F Royo C, Romagosa I. Growth and yield responses of spring and winter triticale cultivated under Mediterranean conditions [J]. *Eur J Agron*, 2004, 20:281-292.

[15] Asseng S, van Herwaarden A F. Analysis of the benefits to wheat yield from assimilates stored prior to grain filling in a range of environments[J]. *Plant and Soil*, 2003, 256:217-229.

[16] Dupont F M, Altenbach S B. Molecular and biochemical impacts of environmental factors on wheat grain development and protein synthesis[J]. *Journal of Cereal Science*, 2003, 38:133-146.

[17] Yang J, Zhang J. Grain filling of cereals under soil drying[J]. *New Phytologist*, 2006, 169:223-236.

[18] 刘 培,蔡焕杰,王 健.土壤水分胁迫下冬小麦籽粒灌浆特性的研究[J].*节水灌溉*,2010,(1):1-4.

[19] 李 捷,吴慎杰.半干旱区春小麦生长冗余的研究[J].*湖北农业科学*,2002,(1):26-27,31.

[20] 范雪梅,姜 东,戴廷波,等.花后干旱和渍水下氮素供应对小麦旗叶衰老和粒重的影响[J].*土壤学报*,2005,42:875-879.

[21] Gallagher J N, Biscoe P V, Hunter B. Effect of drought on grain growth [J]. *Nature*, 1976, 264:541-542.

[22] 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, 2000,40:1645-1655.

[23] Blume A. Improving wheat grain filling under stress by stem reserve mobilization[J]. Euphytica, 1998,100:77-83.

[24] Zhu G X, Midmore D J, Radford B J, et al. Effect of time of defoliation on wheat (*Triticum aestivum*) in central Queensland 1. Crop response and yield[J]. Field Crops Research, 2004,88:211-226.

[25] Passioura J. Grain yield, harvest index, and water use of wheat[J]. J Aust Inst Agric Sci, 1977,43:117-120.

[26] Unger P W. Wheat residue management effects on soil water storage and corn production[J]. Soil Sci Soc Am, 1986,50:764-770.

[27] 高亚军,杨君林,陈 玲,等.旱地冬小麦不同栽培模式、施氮量和种植密度土壤水分利用状况[J].干旱地区农业研究,2007,25(3):45-50.

[28] Zhang S L, Lovdahl L, Grip H, et al. Effects of mulching and catch cropping on soil temperature, soil moisture and wheat yield on the Loess Plateau of China[J]. Soil & Till. Res, 2009,102:78-86.

[29] 李全起,陈雨海,于瞬章,等.灌溉与秸秆覆盖条件下麦田耗水特征研究[J].水土保持学报,2005,19:130-141.

[30] Chowdhury S I, Wardlaw I F. The effect of temperature on kernel development in cereals[J]. Australian Journal of Agricultural research, 1978,29:205-223.

[31] Wiegand C L, Cuellar J A. Duration of grain filling and kernel weight of wheat as affected by temperature[J]. Crop Science, 1981,21:95-101.

[32] 金善宝.小麦生态理论与应用[M].杭州:浙江科技出版社,1992.

[33] 蔡太义,贾志宽,杨宝平,等.不同秸秆覆盖量对春玉米冠层气温差和叶水势日变化的影响[J].灌溉排水学报,2010,29(6):10-13.

[34] 张玉烛,刘 洋,曾 翔,等.覆盖方式对旱作水稻后期冠层生理生态特性及产量的影响[J].中国水稻科学,2010,24(5):487-492.

[35] 方文松,朱自玺,刘荣花,等.秸秆覆盖农田的小气候特征和增产机理研究[J].干旱地区农业研究,2009,27(6):123-128.

[36] 李全起,陈雨海,于瞬章,等.灌溉与秸秆覆盖条件下冬小麦农田小气候特征[J].作物学报,2006,32(2):306-309.

[37] Borrell A K, Hammer G L, van Oosterom E. Stay – green: A consequence of the balance between supply and demand for nitrogen during grain filling[J]. Annals of Applied Biology, 2001,38:91-95.

[38] 王 东,于振文,李延奇,等.施氮量对济麦 20 旗叶光合特性和蔗糖合成及籽粒产量的影响[J].作物学报,2007,33(6):903-908.

[39] 肖 凯,张荣铤,钱维朴.氮素营养调控小麦旗叶衰老和光合功能衰退的生理机制[J].植物营养与肥科学报,1998,4:371-378.

[40] 杨 晴,李雁鸣,肖 凯.不同施氮量对小麦旗叶衰老特性和产量性状的影响[J].河北农业大学学报,2002,25(4):20-24.

[41] 潘庆民,于振文,田奇卓,等.追氮时期对超高产冬小麦旗叶和根系衰老的影响[J].作物学报,1998,24:924-929.

[42] 朱云集,崔金梅,王晨阳,等.小麦不同生育时期施氮对穗花发育和产量的影响[J].中国农业科学,2002,35(11):1325-1329.

[43] 郭平银,李士平,祁士军.追氮时期对不同类型小麦籽粒产量和品质影响[J].德州学院学报,2007,(4):43-48.

[44] 郝明德,王旭刚,党廷辉,等.黄土高原旱地小麦多年定位施用化肥的产量效应分析[J].作物学报,2004,30(11):1108-1112.

[45] 吕殿青.陕西黄土区小麦氮肥一次深施的理论依据与增产条件[J].中国农业科学,1983,(5):7-12.

[46] 王渭玲,张冀涛.旱地分期施用氮肥对小麦产量和品质的影响[J].干旱地区农业研究,1996,14(2):41-44.

[47] 王渭玲,徐福利.覆盖条件下旱地施肥对小麦旗叶生理特性及籽粒产量的影响[J].干旱地区农业研究,2003,21(3):51-54.

(上接第 33 页)

[24] Zhao G W, Wang J H. Effect of auxin on mesocotyl elongation of dark grown maize under different seeding depths[J]. Russian Journal of Plant Physiology, 2010,57(1):79-86.

[25] Zhang H W, Ma P, Zhao Z N, et al. Mapping QTL controlling maize deep-seeding tolerance-related traits and confirmation of a major QTL for mesocotyl length[J]. Theoretical and Applied Genetics, 2012, 124:223-232.

[26] 周德超.种子萌发出苗过程中中胚轴的伸长和胚根的发展[J].生物学通报,1985,7:1-3.

[27] 周德超.再谈禾谷类种子萌发过程中胚轴的伸长[J].生物学通报,1991,9:10-12.

[28] Lu X L, Niu A L, Cai H Y, et al. Genetic dissection of seedling and early vigor in a recombinant inbred line population of rice[J]. Plant Science, 2007,172:212-220.

[29] Redona E D, Mackill D J. Mapping quantitative trait loci for seedling vigor in rice using RFLPs[J]. Theoretical and Applied Genetics, 1996,92:395-402.

[30] Zhou L, Wang JK, Yi Q, et al. Quantitative trait loci for seedling vigor in rice under field conditions[J]. Field Crop Research, 2007, 100:294-301.

[31] 苏书文,白琪林,郭新林,等.三个玉米优异种质和育种素材创新的研究[J].作物杂志,1998,(增刊):66-71.

[32] Rebetzke G J, Ellis M H, Bonnett D G, et al. Molecular mapping of genes for coleoptile growth in bread wheat (*Triticum aestivum* L.) [J]. Theoretical and Applied Genetics, 2007,114:1173-1183.

[33] Rebetzke G J, Fettel N A, Long M, et al. Genotypic increases in coleoptile length improves stand establishment, vigour and grain yield of deep-sown wheat[J]. Field Crops Research, 2007,100:10-23.