

不同肥料处理对豫麦 49 小麦冠层结构与产量性状的影响

李春明, 熊淑萍, 杨颖颖, 马新明*

(河南农业大学农学院/河南省作物生长发育调控重点实验室, 郑州 450002)

摘要:为探讨不同肥料处理对小麦冠层结构和产量性状的影响,采用随机区组试验设计和大田切片法,研究了豫麦 49 小麦品种在单施尿素、鸡粪和鸡粪与尿素配施等条件下小麦冠层结构特征、产量构成因素的变化,结果表明:施用鸡粪有利于增加旗叶的叶绿素含量(*SPAD*),提高群体光合有效辐射(*PAR*),增大小麦群体的平均叶倾角(*MLA*),降低群体的冠层开度(*DIFN*),提高小麦群体的叶面积指数(*LAI*)和籽粒产量。综合考虑小麦产量、经济系数等因素,3 种肥料处理以鸡粪与尿素配施为最佳,配施处理的小麦冠层结构适宜、株型最佳、群体光分布合理。

关键词:有机肥;小麦;冠层结构;产量性状

文章编号:1000-0933(2009)05-2514-06 中图分类号:S181, S314 文献标识码:A

Effects of different fertilizer treatments on canopy architecture and grain yield characteristics of winter Wheat-Yumai 49

LI Chun-Ming, XIONG Shu-Ping, YANG Ying-Ying, MA Xin-Ming*

Agronomy College of Henan Agricultural University, Henan Key Laboratory for Regulating and Controlling Crop Growth and Development, Zhengzhou 450002, China

Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(5): 2514 ~ 2519.

Abstract: In order to understand the effect of different fertilizer treatments on canopy architecture and grain yield characteristics of winter wheat, and to provide scientific basis for applying organic manure and fertilizer, experiments were carried out at the Research Station of Henan Agricultural University from 2005 to 2007. The soil ($\text{pH} = 7.5$) contained 12.31 g kg^{-1} organic matter, 71.40 mg kg^{-1} alkali-hydrolyzed N, 16.32 mg kg^{-1} available P, $150.91 \text{ mg kg}^{-1}$ available K. The winter wheat cultivar, Yumai 49 (medium gluten), was used in this study. Density of each plot was 225×10^4 plants ha^{-1} . With the method of field slicing up, field experiments were carried out to study the dynamics of canopy architecture characteristics, and grain yield and grain protein content of medium gluten wheat with application of urea, urea and chicken manure mixture, and chicken manure. The chicken manure contained 130 g kg^{-1} organic matter, 23.62 g kg^{-1} total N, 11.14 g kg^{-1} available P, 9.53 g kg^{-1} available K. All the treatments had the same nutrient contents ($\text{N } 225 \text{ kg hm}^{-2}$, $\text{P}_2\text{O}_5 112.5 \text{ kg hm}^{-2}$ and $\text{K}_2\text{O } 112.5 \text{ kg hm}^{-2}$), the area of each experimental plot was 8 m^2 . The experiment was arranged in a completely randomized design with three replications, and all treatments were managed in the same way. *SPAD* value of functional leaves was measured from the same position during jointing, flowering, early grain-filling, middle grain-filling and late grain-filling stages using chlorophyll meter (*SPAD-502*). The photosynthetically active radiation (*PAR*), mean leaf angle (*MLA*), leaf area index (*LAI*) and canopy openness (*DIFN*) in different position (top, middle and bottom part), namely 2/3 of wheat height, 1/3 of wheat height and near ground, were determined, according to standard

基金项目:国家“863”高技术研究发展计划资助项目(2006AA10Z271); 国家绿色农业公益项目(2007-05); 河南省新世纪优秀人才支持计划(2005HANCET-09)

收稿日期:2008-11-04; 修订日期:2009-03-10

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: xinmingma@126.com

methods in the literature, with the SunScan canopy analysis system and LAI-2000 canopy analyzer respectively. The results showed as follows, chicken manure had not only obviously increased *SPAD* value, *PAR*, *MLA*, *LAI*, but also enhanced grain yield, and decreased *DIFN*. Considering the yield and economy coefficient, application of urea and chicken manure mixture was the best treatment among the three different treatments, for this treatment had the most suitable canopy architecture, best plant type and most reasonable sunlight distribution.

Key Words: organic manure; wheat; canopy architecture; grain yield characteristics

小麦群体的干物质生产与所吸收的太阳辐射能有直接关系,并受冠层结构的影响^[1]。关于不同品种、行距、种植密度和环境条件下冠层结构特性对小麦籽粒产量的影响前人研究较多,有人报道株型紧凑的小麦品种,因其冠层中下部的光分布增多,叶片的寿命延长及光合作用增强,最终导致产量增加^[2];另有研究指出,15 cm 行距是大穗型小麦品种‘兰考矮早八’的最佳行距配置,其叶面积指数最大,冠层开度最小,利于提高产量^[3];王之杰等人提出,超高产小麦以每公顷 150 万基本苗处理的冠层结构最优,产量最高^[4];林忠辉等人研究表明高原地区小麦具有比内地品种更为直立的株型结构和较低的消光系数,对光合有效辐射的利用率更高,这是其高产的重要基础^[5]。施用有机肥具有提高土壤供应养分能力和改良土壤的双重作用^[6~9],对有机肥在作物生产中的应用研究已成为近年来研究的热点之一。但是,关于有机无机肥配施对小麦的冠层结构特性及其产量性状影响的研究尚少见报道。本试验以中筋型小麦‘豫麦 49’为材料,采用大田切片法研究了鸡粪与尿素配施对小麦冠层光分布特性及产量性状的影响,旨在从光能利用方面研究有机肥对小麦产量的影响,专为合理施用有机肥的栽培技术提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料与设计

试验于 2005~2007 年在河南农业大学科教园区进行。供试土壤为潮土,耕层养分为:pH 值为 7.5,有机质 12.31 g·kg⁻¹,碱解氮 71.40 mg·kg⁻¹,速效磷 16.32 mg·kg⁻¹,速效钾 150.91 mg·kg⁻¹。供试品种为中筋小麦品种豫麦 49 号(*Triticum aestivum* L.)。试验处理为:鸡粪、鸡粪和尿素各半配施、尿素。鸡粪为河南省和协禽业集团经无害化处理的烘干鸡粪,其养分含量为有机质 13%,全氮 2.36%,P₂O₅ 1.11%,K₂O 0.95%。各肥料处理以等养分量氮 225 kg·hm⁻²,P₂O₅ 112.5 kg·hm⁻²,K₂O 112.5 kg·hm⁻²。采用随机区组设计,3 次重复,小区面积为 8 m²。肥料类型以氮素为准,扣除鸡粪中的磷钾,补足磷钾肥(过磷酸钙与氯化钾)。尿素处理、配施处理中基施尿素与拔节期追施尿素的比例为 7:3,试验于 10 月 20 日统一播种,基本苗为每公顷 225 万株,其它栽培管理同一般高产田。

1.2 测定项目与方法

上、中、底部的划分:采用大田切片法将离地面高度为株高的 1/3 处设定为中部,2/3 处为上部,近地面为底部。

SPAD 值(叶绿素含量):利用日本产的叶绿素仪(*SPAD-502*)测定顶部第一片完全展开叶的 *SPAD* 值,表示叶片叶绿素相对含量。

LAI(叶面积指数)、*MLA*(平均叶倾角)和 *DIFN*(冠层开度):按照王谦等^[10]的方法用 *LAI-2000* 冠层分析仪测定,时间为上午 9:00~11:00。

PAR(冠层截获有效辐射量):用英国 Delta 公司生产的 *SUNSCAN* 冠层分析系统(*SS1-COM*)测定光合有效辐射值,按照参考文献^[11]的方法折算冠层截获有效辐射量。

以上项目分别在开花前 15 d(4 月 10 日)、开花期(4 月 25 日)、花后 10 d(5 月 5 日)、花后 20 d(5 月 15 日)、花后 30 d(5 月 25 日)进行测定。

产量和产量构成因素:收获后每处理选取 10 株有代表性的植株进行室内考种。以小区为单位实收晒干,

换算出单位面积生物产量和经济产量。

1.3 数据处理

数据处理和绘图运用 Excel 2003 进行,用 SPSS 12.0 for Windows 进行方差分析、描述统计和相关分析等统计学分析。

2 结果与分析

2.1 不同肥料处理对 SPAD 值的影响

由图 1 可以看出,随着生育时期的后移,尿素处理的 SPAD 值逐渐下降,其它两个处理先升后降,且以花后 10 d 最高,其中鸡粪处理在花后 20 d 以前变幅较小,之后陡然下降,鸡粪 + 尿素处理在花后 10 d 以后逐渐降低,相同时期不同处理间相比,在开花前 15 d 和花后 30 d 均以鸡粪处理最低,而在开花期以后,鸡粪 + 尿素处理的 SPAD 值显著高于尿素处理。

2.2 不同肥料处理对冠层 PAR 的影响

从图 2 可以看出,豫麦 49 的 PAR 值在 3 种肥料处理和 3 个部位均随生育进程呈先升后降的趋势,以开花期为最高,3 种肥料处理之间相比,对于上部冠层,鸡粪 + 尿素和鸡粪处理的 PAR 值在各生育时期均极显著高于尿素处理 ($P < 0.01$);中部和底部冠层的 PAR 值在开花前 15 d 以尿素处理为最高,鸡粪处理最低,二者间差异极显著 ($P < 0.01$),开花期以后,鸡粪 + 尿素和鸡粪处理的 PAR 值显著高于尿素处理 ($P < 0.05$)。

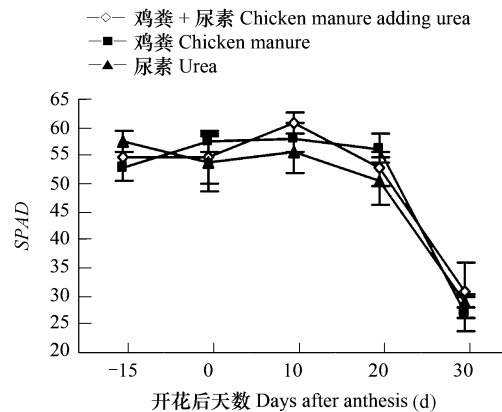


图 1 不同肥料处理对豫麦 49 旗叶 SPAD 值的影响

Fig. 1 Effects of different fertilizer treatments on SPAD reading in flag leaves of Yumai 49

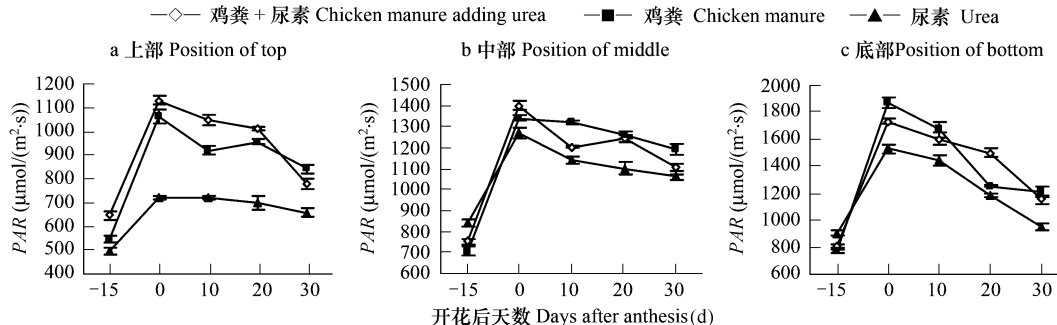


图 2 不同肥料处理对豫麦 49 PAR 的影响

Fig. 2 Effects of different fertilizer treatments on PAR of Yumai 49

2.3 不同肥料处理对冠层 MLA 的影响

MLA 是指小麦的平均叶倾角(叶片与水平方向之间的锐角),它是反映小麦群体光辐射特征的主要指标之一。从图 3 可以看出,在不同肥料处理下,各个部位的平均叶倾角均随生育进程呈先上升后下降的趋势,均于花后 10 d 或 20 d 达到最大值,而后降低,其中在开花期至花后 30 d,尿素、鸡粪及二者配施处理上层 MLA 的变化范围分别为 $46^{\circ} \sim 66^{\circ}$ 、 $49^{\circ} \sim 74^{\circ}$ 和 $63^{\circ} \sim 76^{\circ}$,相同部位不同肥料处理间相比,鸡粪 + 尿素和鸡粪处理上、中部的 MLA 在开花前 15 d 和花后 10 d 均显著高于尿素处理 ($P < 0.05$),其中在上部差异达到极显著水平 ($P < 0.01$),底部则在开花后达到显著水平 ($P < 0.05$)。

2.4 不同肥料处理对冠层开度(DIFN)的影响

DIFN 代表冠层下可见天空比例,常用来表示冠层透光率。豫麦 49 小麦 3 部位的冠层开度均随生育进程呈先降后升的趋势(图 4),在开花期冠层开度最小,呈“V”字型趋势,3 种肥料处理之间相比,上部和底部的冠层开度在籽粒灌浆期均以尿素处理最大,鸡粪 + 尿素处理最小,并且二者间差异显著 ($P < 0.05$),说明对于中

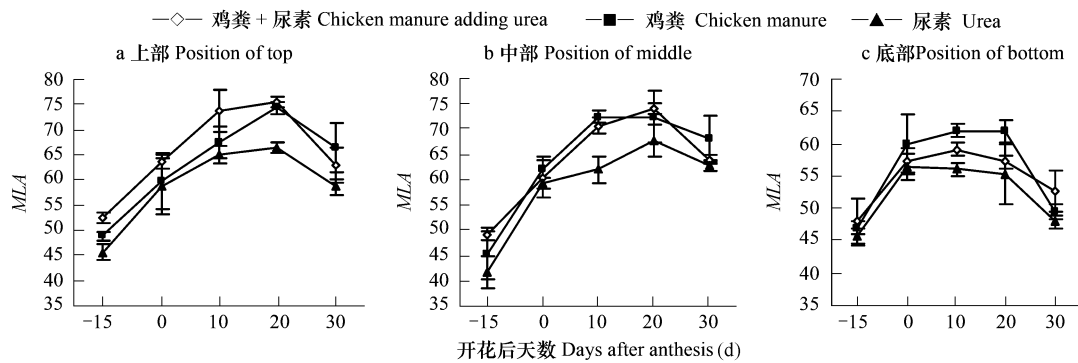


图3 不同肥料处理对豫麦 49 MLA 的影响

Fig. 3 Effects of different fertilizer treatments on MLA of Yumai 49

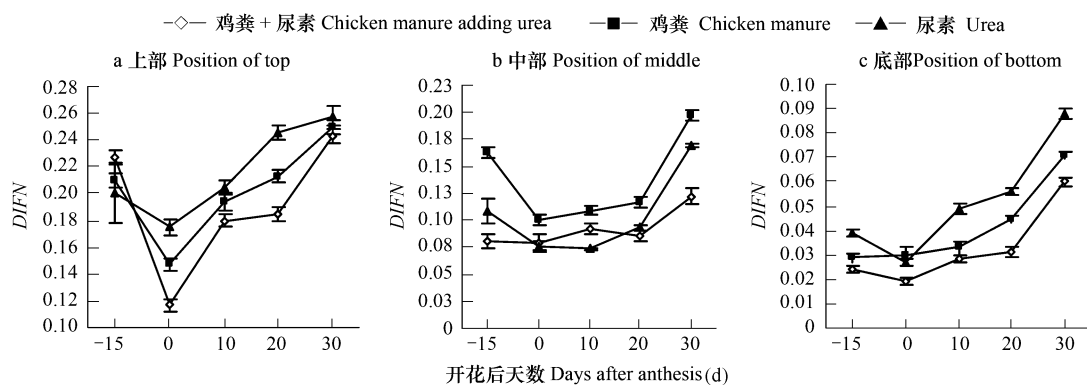


图4 不同肥料处理对豫麦 49 DIFN 的影响

Fig. 4 Effects of different fertilizer treatments on DIFN of Yumai 49

筋型豫麦 49 小麦品种,鸡粪的施用有利于降低各冠层的 *DIFN*,并以鸡粪与尿素配施效果最佳。

2.5 不同肥料处理对冠层 LAI 的影响

不同肥料处理对小麦不同部位 *LAI* 的影响为随生育进程呈先升后降趋势(图 5),并在开花期或花后 10 d 达到最大,上部和底部的叶面积指数在开花期最大,而中部于花后 10 d 最大,3 种肥料处理之间相比,开花前 15 d 以后,上部与中部的叶面积指数及花后 20 d 以前底部的叶面积指数均以尿素处理最小,鸡粪 + 尿素处理最大,并且上部在开花期、花后 10 d 和花后 30 d,中部在花后 10、20 d,底部在花后 20 d 以前的 3 个生育时期,配施处理的叶面积指数均显著高于尿素处理 ($P < 0.05$),其中在花后 10 d,各层叶面积指数达极显著性水平

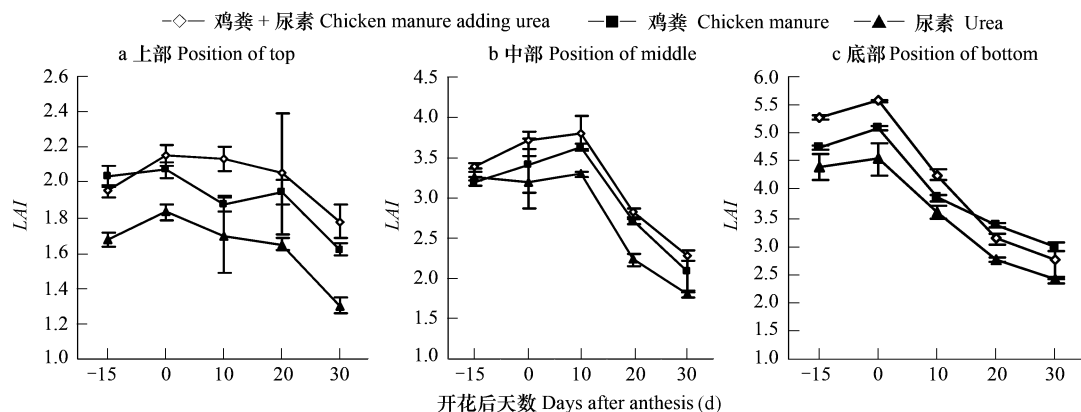


图5 不同肥料处理对豫麦 49 LAI 的影响

Fig. 5 Effects of different fertilizer treatments on LAI of Yumai 49

($P < 0.01$)。

2.6 不同肥料处理对产量构成因素的影响

从表 1 可以看出,鸡粪的施用对小麦产量性状及单株根条数产生较大的影响。鸡粪和鸡粪 + 尿素处理的穗粒重和生物产量均显著性高于尿素处理($P < 0.05$),二者的单株根条数、穗粒数和籽粒产量的差异达极显著水平($P < 0.01$),其中穗粒数和籽粒产量以鸡粪处理最高,但是其经济系数与其它两个处理相比却是最低的。

表 1 不同肥料处理对豫麦 49 产量性状的影响

Table 1 Effects of different fertilizer treatments on grain yield characteristics of Yumai 49

处理 Treatment	单株根条数 Root number per plant	有效分蘖数 Effective spikes per plant	穗粒数 Kernel amount of per spike	穗粒重 Kernel weight of per spike (g)	千粒重 1000-kernel weight (g)	生物产量 Biomass yield (kg·hm ²)	籽粒产量 Grain yield (kg·hm ²)	经济系数 Economy coefficient
尿素 Urea	31.5cC	5.7a	36.1cB	1.37bB	38.1b	17439.1cB	6668.5bB	0.3824bB
鸡粪 Chicken manure	43.5aA	6.1a	39.8aA	1.62aA	40.8 a	19666.8aA	7043.1aA	0.3581cC
鸡粪 + 尿素 Chicken manure and urea mixed	35.1bB	5.7a	38.3bA	1.43bB	37.3b	17841.9bB	6986.8aA	0.3916aA

不同的大写字母(A、B)和小写字母(a、b)分别代表 $P < 0.01$ 和 $P < 0.05$, 表中数据为 2006 ~ 2007 年两年度平均值 The different capital (A、B) and small (a、b) letters stand for $P < 0.01$ and $P < 0.05$, data in upper table is the mean of 2006 and 2007

3 结语与讨论

植物冠层结构特征显著影响冠层截获光合有效辐射的能力及其光合作用强度,与产量形成密切相关^[12,13],一些学者常把 *PAR*、*MLA*、*LAI* 和透光率作为作物冠层特性的主要指标进行相关研究。Vesala 等^[14]认为,植物冠层截获 *PAR* 的量决定着其固定 CO_2 的能力,显著影响植物的干物质积累;Goudriaan 和 Monteith^[15]的试验结果显示 *LAI* 可以用来估算冠层潜在光合生产力与作物干物质积累量;另有研究表明,小麦的平均叶倾角通过显著改变冠层固定 CO_2 的能力间接影响其籽粒产量^[16],并提出理想的小麦群体应是上层叶大部分倾角为 $60 \sim 80^\circ$ ^[4,12];Mc Intyre 等^[17]研究认为透光率的大小决定着田间土壤蒸发量;而透光率又与冠层开度相关性非常密切,相关系数达 0.9308,回归直线的截距为 0.015,斜率为 1.0668,可用冠层开度表示冠层透光率^[10]。

本研究结果表明,鸡粪与尿素配施能提高开花后旗叶的叶绿素含量,这与姜东等^[9]人的有机无机肥配施能提高灌浆中后期小麦叶片中叶绿素含量的研究结论一致,说明鸡粪与尿素配施能延缓叶片衰老,延长光合速率高值期,提高生育后期叶片的光合能力,更利于籽粒灌浆。

本文利用 *LAI*-2000 冠层分析仪测得的 *LAI* 值在灌浆后期仍维持在 2.4 以上,这比传统干重法所测叶面积指数(小于 1.0)^[1]偏大,因为传统法只计算绿叶面积,没能把衰老叶片、茎秆和穗考虑进去,而生育后期衰老枯焦的叶片和茎、穗仍具有消光能力,继续影响冠层开度和透光率,进而影响田间蒸发量,用冠层分析仪测定时充分考虑到这些因素,由该仪器所测 *LAI* 值计算得出的消光系数更能真实反映小麦生育后期的冠层消光能力。

本研究结果还显示,鸡粪与尿素配施处理显著提高各冠层的 *LAI* 及其所截获的 *PAR*,降低冠层开度,经相关分析,结果显示 *LAI* 与 *PAR* 呈极显著正相关($r = 0.4548, n = 45$),说明鸡粪与尿素配施能提高小麦各冠层的 *LAI*,增加冠层对 *PAR* 的截获量,提高小麦的光合物质生产能力。

在本试验土壤肥力条件下,鸡粪与尿素配施极显著地增加小麦籽粒产量,表明施用有机肥具有明显的增产效应,其原因是,第一,配施处理显著提高开花期以后旗叶的叶绿素含量,延缓其衰老,对延长旗叶光合速率高值期、降低不孕小穗数和增加穗粒数十分有利;第二,配施显著增加小麦根系数量,并能增强根系活力^[18],利于籽粒形成与灌浆期小麦对土壤水分和养分物质的吸收利用,增加穗粒重;第三,配施处理显著提高冠层 *LAI*,显著增大开花期以后冠层截获的 *PAR* 值,并使开花期以后上部冠层 *MLA* 在 $63^\circ \sim 76^\circ$ 之间变化,完全处

于 $60^{\circ} \sim 80^{\circ}$ 的最佳状态^[4,12], 增强冠层同化固定 CO_2 的能力, 配施处理还显著降低了开花期以后小麦的 *DIFN*, 有利于降低小麦生育中后期的田间土壤蒸发量和延缓根系及旗叶的衰老, 进而显著提高干物质质量的积累, 为籽粒产量的极显著提高奠定基础。上述结果表明, 鸡粪与尿素配施处理通过小麦冠层结构的改善, 实现了籽粒产量和经济系数的显著提高。而鸡粪处理虽然在一定程度上优化了小麦的冠层结构, 显著提高穗粒数、穗粒重、生物产量和经济产量, 但其经济系数和花后 30 d 的旗叶叶绿素含量却是最低, 并且在与配施处理籽粒产量相当的情况下, 鸡粪处理因其过高的生物产量而增大了小麦后期发生倒伏的风险。

References:

- [1] Zeng Z R, Zhao S N, Li Q. Canopy development, light interception and grain yield in high yielding wheat varieties in Beijing district. *Acta Agronomica Sinica*, 1991, 17(3):161—170.
- [2] Hu Y J, Lan J H, Zhao T F, *et al.* Canopy architecture and photosynthetic characteristics in two winter wheat cultivars with different spike type. *Acta Agronomica Sinica*, 2000, 26(6):905—912.
- [3] Yang W P, Guo T C, Liu S P, *et al.* Effects of row spacing in winter wheat on canopy structure and microclimate in later growth stage. *Journal of Plant Ecology*, 2008, 32(2):485—490.
- [4] Wang Z J, Guo T C, Zhu Y J, *et al.* Study on character of light radiation in canopy of super-high-yielding winter wheat. *Acta Botanica Boreale-Occidentalia Sinica*, 2003, 23(10):1657—1662.
- [5] Lin Z H, Zhou Y H, Wang H M, *et al.* Canopy geometrical structure, interception of photosynthetically active radiation and their effects on potential productivity of winter wheat in Tibet Plateau. *Acta Ecologica Sinica*, 1998, 18(4):392—398.
- [6] Singh V, Dhillon N S, Brar B S. Effect of incorporation of crop residues and organic manures on adsorption/desorption and bioavailability of phosphate. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 2006, 76: 95—108.
- [7] Yang C M, Yang L Z, Yan T M, *et al.* Effects of nutrient and water regimes on paddy soil quality and its comprehensive evaluation in the Taihu Lake Region. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(1):63—70.
- [8] Zhou W J, Wang K R, Zhang G Y. Some effects of inorganic fertilizer and recycled crop nutrients on soil nitrogen supply and paddy rice production in the red earth region of China. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(5):914—921.
- [9] Jiang D, Yu Z W, Xu Y M, *et al.* Effects of combined application of organic manure and fertilizer on senescences of root and flag leaf in winter wheat. *Acta Pedologica Sinica*, 1999, 36(4):440—447.
- [10] Wang Q, Chen J L, Sun Z Q. The utility of LAI-2000 canopy analyzer studying the sunlight distribution characteristics in different plant colonies. *Scientia Agricultura Sinica*, 2006, 39(5):922—927.
- [11] Shi Z Y, Gao X F, Xie Y. The application of SUNSCAN canopy analysis system in the measurement of field ecosystem. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2005, 23(4):78—82.
- [12] Nichiporovich A A. Properties of plant crops as optical system. *Plant Physiology*, 1961, 8:428—435.
- [13] Medlyn B. Physiological basis of the light use efficiency model. *Tree Physiology*, 1998, 18:167—176.
- [14] Vesala T, Markkanen T, Palva L, *et al.* Effect of variations of PAR on CO_2 exchange estimation for Scots pine. *Agricultural Forest Meteorology*, 2000, 100:337—347.
- [15] Goudriaan J, Monteith J L. A mathematical function for crop growth based on light interception and leaf area expansion. *Annals of Botany*, 1990, 66:695—701.
- [16] Brooks T J, Wall G W, Pinter Jr P J, *et al.* Acclimation response of spring wheat in a free-air CO_2 enrichment (FACE) atmosphere with variable soil nitrogen regimes. 3. Canopy architecture and gas exchange. *Photosynthesis Research*, 2000, 66:97—108.
- [17] McIntyre B D, Riha S J, Ong C K. Light interception and evapotranspiration in hedgerow agroforestry systems. *Agricultural and Forest Meteorology*, 1996, 81:31—40.
- [18] Zhou Y, Luo A C. Effect of organic manure on phosphorus absorption and root activities of wheat. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 1997, 3(3):243—248.

参考文献:

- [1] 曾浙荣, 赵双宁, 李青. 北京地区高产小麦品种的冠层形成、光截获和产量. *作物学报*, 1991, 17(3): 161~170.
- [2] 胡延吉, 兰进好, 赵坦方, 等. 不同穗型的两个冬小麦品种冠层结构及光合特性的研究. *作物学报*, 2000, 26(6): 905~912.
- [3] 杨文平, 郭天财, 刘胜波, 等. 行距配置对‘兰考矮早八’小麦后期群体冠层结构及其微环境的影响. *植物生态学报*, 2008, 32(2): 485~490.
- [4] 王之杰, 郭天财, 朱云集, 等. 超高产小麦冠层光辐射特征的研究. *西北植物学报*, 2003, 23(10): 1657~1662.
- [5] 林忠辉, 周允华, 王辉民, 等. 青藏高原冬小麦冠层几何结构、光截获及其对光合潜能的影响. *生态学报*, 1998, 18(4): 392~398.
- [7] 杨长明, 杨林章, 颜廷梅, 等. 不同养分和水分管理模式对水稻土质量的影响及其综合评价. *生态学报*, 2004, 24(1): 63~70.
- [8] 周卫军, 王凯荣, 张光远. 有机无机结合施肥对红壤稻田土壤氮素供应和水稻生产的影响. *生态学报*, 2003, 23(5): 914~921.
- [9] 姜东, 于振文, 许玉敏, 等. 有机无机肥料配合施用对冬小麦根系和旗叶衰老的影响. *土壤学报*, 1999, 36(4): 440~447.
- [10] 王谦, 陈景玲, 孙治强. LAI-2000 冠层分析仪在不同植物群体光分布特征研究中的应用. *中国农业科学*, 2006, 39(5): 922~927.
- [11] 史泽艳, 高晓飞, 谢云. SUNSCAN 冠层分析系统在农田生态系统观测中的应用. *干旱地区农业研究*, 2005, 23(4): 78~82.
- [18] 周焱, 罗安程. 有机肥处理对小麦根系生长、活力和磷吸收的影响. *植物营养与肥料学报*, 1997, 3(3): 243~248.